

**EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO
EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO, COLOMBIA.**

Luis Ángel Cabarcas Rivas

Juan Carlos Medina Solano

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero
Ambiental**

Director de Trabajo de grado

Rubén Darío Cantero Rodelo

Codirector de Trabajo de grado

Fabian Atencio Sarmiento

Universidad de la Costa

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Barranquilla

2019

Dedicatoria.

A mi **Dios** creador de todas las cosas, por regalarme la vida, acompañarme y bendecirme en todos los momentos; por obsequiarme la sabiduría y fortaleza para luchar en el día a día y lograr mis metas, por esto dedico el presente trabajo a él, ya que sin Dios nada es posible.

A mi abuela, Marlene Ortega De Rivas, por ser mi inspiración, por regalarme su apoyo incondicional en mi formación como persona y profesional, en las cuales me ha aconsejado, comprendido y confiado en mí en todo momento de mi vida, por todo el sacrificio que ha hecho para que su nieto sea una gran persona llena de valores y principios. ¡Te amo mama!

A mi madre, Josefina Rivas Ortega, por ser mi inspiración, por su sacrificio incansable de hacer de su hijo una persona de bien, lleno de valores y principios morales, por su apoyo incondicional y consejos en los momentos cuando más lo necesitaba, por no dudar de mí en ningún momento y principalmente por hacerme un hombre responsable y lleno de grandes virtudes. ¡Te amo madre!

A mi hermana, Yéssica Rivas, por su apoyo incondicional y nunca dudar que lograría este triunfo, y demás familiares como **mi abuelo, tíos y primos y mi sobrino**.

Luis Cabarcas Rivas

Es de gran gratitud para nosotros haber culminado nuestro mayor objetivo, el cual será el inicio de grandes éxitos para nuestras vidas, gracias al apoyo de mi familia y al gran ayudaba brindada por docentes y a la universidad de la costa por permitirnos los instrumentos necesarios para llevar a cabo nuestra investigación.

Juan Medina.

Agradecimientos.

Los autores del presente trabajo se complacen en agradecerles a:

MSc. Ruben Cantero, por permitirnos llevar a cabo este trabajo de investigación bajo su dirección, le agradecemos por su compromiso, tiempo y asesorías brindadas en todo lo largo de la investigación.

Al profesor, Fabian Atencio, por su disposición e interés en ayudarnos con la investigación realizada.

La Universidad de la Costa, por brindarnos todo el espacio e instrumentos para llevar a cabo esta investigación, así mismo el Centro de Investigación de Tecnologías Ambientales CITA y todo el personal que me apoyo y me brindo ayuda en esta investigación.

A todos los profesores de la Universidad de la Costa que hacen parte del departamento civil y ambiental, los cuales fueron fundamental en mi formación académica con todos sus aportes de conocimiento.

Resumen

El presente estudio plantea la evaluación de la calidad del agua de consumo humano a escala regional en el departamento del Atlántico. Para este, primeramente, se recolectaron muestras en los veintitrés (23) municipios que conforman el departamento. Los puntos de recolección de las muestras fueron determinados teniendo en cuenta la normativa definida por la Resolución 0811 de 2008, seleccionando entonces 3 puntos de muestreo; el primero en el punto más cercano a la red de distribución, el segundo en el punto más lejano, y el tercero en un punto con densidad poblacional alta en cada municipio. Las muestras recolectadas permitieron efectuar una caracterización de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos pertinentes para evaluar el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua, evaluando un total de dieciocho (18) características. Los resultados de análisis de laboratorio obtenidos demostraron que en general la calidad del agua en los diferentes municipios del departamento era para el periodo del 2016 fue 53,63 clasificándola con un nivel de riesgo alto y para el 2018 este arrojó un valor de 20,09 catalogándola con un nivel de riesgo medio, se encontró una mejora en año 2018 frente al 2016 la cual es atribuida a mantenimientos realizados por empresa encargada de tratamiento y distribución de agua potable, según lo estipulado por la Resolución 2115 de 2007 de las características evaluadas se califican como agua no apta para el consumo humano en ambos años de estudio. Después de esta comparación, fue calculado el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua de cada municipio, como medida para calcular la magnitud del riesgo potencial a la que se ven expuestos los habitantes del departamento del Atlántico en cuanto a su agua de consumo. A partir de esto, fue posible georreferenciar por medio del programa ArcGIS los resultados obtenidos, esto para delimitar un mapa de riesgo, por medio de los lineamientos dados por la Resolución 4716 de 2010; que facilite el reconocimiento de los puntos estratégicos donde la

calidad del agua es apta para consumo dentro del área de estudio. Por último, fueron propuestas recomendaciones para aquellas zonas donde se estimó que al agua de consumo podía presentar repercusiones para la salud.

Palabras clave: Acueducto, parámetros físico – químicos, parámetros microbiológicos, riesgo de la calidad del agua, índice de riesgo

Abstract

The present study proposes the evaluation of the quality of water for human consumption at regional level in the department of Atlántico. For this, first, samples were collected in the twenty-three (23) municipalities that make up the department. The sample collection points were determined taking into account the regulations defined by Resolution 0811 of 2008, then selecting 3 sampling points; the first at the point closest to the distribution network, the second at the furthest point, and the third at a point with high population density in each municipality. The collected samples allowed a characterization of the relevant physical, chemical and microbiological parameters to assess the Water Quality Risk Index, evaluating a total of eighteen (18) characteristics. The results of laboratory analysis obtained showed that in general the quality of the water in the different municipalities of the department was for the period of 2016, it was 53.63, classifying it with a high level of risk and for 2018 this showed a value of 20.09 cataloging it with an average level of risk, an improvement was found in 2018 compared to 2016, which is attributed to maintenance performed by a company in charge of treatment and distribution of drinking water, as stipulated by Resolution 2115 of 2007 of the characteristics evaluated. they qualify to be water not suitable for human consumption in both years of study... After this comparison, the Water Quality Risk Index of each municipality was calculated, as a measure to calculate the magnitude of the potential risk to which the inhabitants of the Atlantic department are exposed in terms of their drinking water. From this, it was possible to georeference through the ArcGIS program the results obtained, this to delimit a risk map, through the guidelines given by Resolution 4716 of 2010; that facilitates the recognition of strategic points where water quality is suitable for consumption within the study area. Finally,

recommendations were proposed for those areas where it was estimated that drinking water could have health repercussions.

Keywords: Aqueduct, physical - chemical parameters, microbiological parameters, water quality risk, risk index

Tabla de contenido

Lista de tablas y figuras.....	11
1.Introducción.....	14
2. Planteamiento del Problema	16
3. Justificación	18
4. Objetivos.....	20
4.1 Objetivo General	20
4.2 Objetivos Específicos	20
5. Marco referencial	21
5.1 Calidad de agua	21
5.1.1 Parámetros de Calidad de Agua.	21
5.2 Índice de Riesgo de la Calidad de Agua para Consumo Humano.....	29
5.3 Calidad del Agua en el departamento del Atlántico.	30
6. Estado del Arte.....	33
7. Marco Legal.....	38
8. Metodología	40
8.1 Área de Estudio	40
8.2 Recolección de Muestras.	42
8.3 Análisis de Laboratorio.....	43
8.3.1 Caracterización Fisicoquímica.	44
8.3.2 Caracterización Microbiológica.	50
8.4 Aplicación del IRCA.	50
8.4.1. Limitaciones del estudio.	52

8.5 Procesamiento y análisis de los datos.....	56
9. Resultados y discusiones.	58
9.1 Análisis estadístico descriptivo del IRCA.	58
9.2 Análisis estadístico descriptivo de parámetros QUE NO cumplimiento de la norma y problemas asociado a la salud.....	62
9.2.1 Análisis estadísticos.....	62
9.2.2 Problemas de salud asociados a los parámetros que no cumplen con la norma.....	65
9.3 Análisis estadístico descriptivo POR EMPRESA de tratamiento de agua potable.....	68
9.4 Resultados de irca departamental con programa arcgis.....	69
10. Conclusiones.	73
11. Recomendaciones.....	76
12. Lista de Referencias	77
Anexos.....	83
Anexo 1. Resultados de promedio de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.....	83
Anexo 2. Resultados puntaje de riesgo y IRCA para cada municipio para cada año.	85
Anexo 3. Resultados obtenidos del sistema de georreferenciación con programa ArcGis.	89
Anexo 4. Distribucion de empresas encargadas de tratamiento de agua potable.	93
Anexo 5. Registro fotográfico de recolección y pruebas de laboratorio.	94

Lista de tablas y figuras

Tablas

Tabla 1. Marco Legal de Calidad de Agua de Consumo Humano.	38
Tabla 2. Municipios que conforman el departamento del Atlántico y sus coordenadas.	41
Tabla 3. Características fisicoquímicas evaluadas.	44
Tabla 4. Valores máximos aceptables para todas características.	51
Tabla 5. Valores máximos aceptables para características medida en 2016.	52
Tabla 6. Valores máximos aceptables para características medida en 2018.	53
Tabla 7. Clasificación de Niveles de Riesgo.	55
Tabla 8. Clasificación por colores utilizados para niveles de riesgo.	57
Tabla 9. Resultados de análisis estadístico del IRCA para cada año.	61
Tabla 10. Resultados de los parámetros con no cumplimiento de la norma para el año 2016.	62
Tabla 11. Resultados de los parámetros con no cumplimiento de la norma para el año 2018.	63
Tabla 12. Resultados comparativos de IRCA por empresa de distribución de agua potable para el año 2016.....	68
Tabla 13. Resultados comparativos de IRCA por empresa de distribución de agua potable para el año 2018.....	69
Tabla 14. Resultado por parámetro para el año 2016 para cada municipio.....	83
Tabla 15. Continuación de resultado por parámetro para el año 2016 para cada municipio.	83
Tabla 16. Resultado por parámetro para el año 2018 para cada municipio.....	84
Tabla 17. Continuación de resultado por parámetro para el año 2018 para cada municipio.	84
Tabla 18. Resultado de puntaje de riego para cada parámetro y IRCA municipal para el año 2016.	85

Tabla 19. Continuación de resultado de puntaje de riego para cada parámetro y IRCA municipal para el año 2016.	85
Tabla 20. Resultado de puntaje de riego para cada parámetro y IRCA municipal para el año 2018.	86
Tabla 21. Resultado de puntaje de riego para cada parámetro y IRCA municipal para el año. ...	87

Figuras

Figura 1. Riesgo de Calidad de Agua en el departamento del Atlántico.	31
Figura 2. Tendencia del IRCA consolidado.	32
Figura 3. Ubicacion del departamento del Atlántico.	40
Figura 4. Resultados de municipios distribuidos en clasificación del IRCA los años 2016 y 2018	58
Figura 5. Representación porcentual de Resultados de municipios distribuidos en clasificación del IRCA los años 2016. Fuente: Propia.	59
Figura 6. Representación porcentual de Resultados de municipios distribuidos en clasificación del IRCA los años 2018. Fuente: Propia.	60
Figura 7. Mapa de riesgo del departamento del Atlántico para el 2016.	70
Figura 8. Mapa de riesgo del departamento del Atlántico para el 2018.	71
Figura 9. Mapa de clasificación de IRCA e información de georreferenciada con 3 municipios diferentes para el departamento del Atlántico en el año 2016.	89
Figura 10. Mapa de clasificación de IRCA e información de georreferenciada con 3 municipios diferentes para el departamento del Atlántico en el año 2016.	90

Figura 11. Mapa de clasificación de IRCA e información de georreferenciada con 3 municipios diferentes para el departamento del Atlántico en el año 2018.	91
Figura 12. Mapa de clasificación de IRCA e información de georreferenciada con 3 municipios diferentes para el departamento del Atlántico en el año 2018.	92
Figura 13. Mapa de clasificación para distribución de agua potable de la empresa triple A.	93
Figura 14. Preparación para prueba microbiológica.	95
Figura 15. Resultados microbiológicos.	97
Figura 16. Análisis de resultados microbiológicos con macroscopio.	97
Figura 17. Preparación para pruebas de fosfatos, hierro y nitritos.	97
Figura 18. Resultado para pruebas de fosfatos.	98
Figura 19. Resultados de pruebas físico-químicas.	99
Figura 20. Resultados de pruebas físico-químicas (alcalinidad).	100

1. Introducción

El agua potable y el saneamiento básico son necesidades indispensables para el bienestar de cualquier individuo; sin embargo, en la actualidad muchas poblaciones presentan una evidente problemática referente al acceso a fuentes de agua potable, no solo como consecuencia de las condiciones geográficas del área donde se desarrollan, sino también porque muchos cuerpos de agua no se encuentran en condiciones aptas para su consumo (OMS, 2015).

En este sentido, es importante reconocer que el agua potable con baja calidad tiende a contar con especies bacterianas o por características físicas y químicas que pueden alterar las propiedades del agua para su consumo por el ser humano; incluso puede verse afectada por factores como materiales de las tuberías de distribución, estructuras foráneas cerca del suministro de agua y almacenamiento deficiente del agua en los domicilios (Goenaga & Martínez, 2017).

La calidad del agua para consumo humano representa entonces un factor determinante en las condiciones de salud de las poblaciones, debido a que sus características pueden favorecer tanto la prevención como la transmisión de agentes que causan enfermedades (Bríñez, Guarnizo, & Arias, 2012). En este escenario, el Ministerio de Salud y Protección Social, como entidad dirigente de la salud en Colombia, viene normalizando desde el siglo XX, así mismo la calidad del agua potable en el país es vigilada a través de las Entidades Territoriales de Salud; y para perfeccionar la realización de esta tarea, se crea también el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua. Esta vigilancia en Colombia ha permitido conocer el estado de la calidad del agua en la mayoría de los territorios de manera continua. Además, a partir de año 2011, es elaborado el Informe Anual del Estado de la Vigilancia de la Calidad del Agua en Colombia, el cual hace una descripción secuencial de la información primaria de la calidad del agua registrada

por las autoridades de salud, recopilando los resultados de los Índices de Riesgo de Calidad del Agua de cada departamento en particular (Ministerio de Salud y Protección Social, 2018).

Esta vigilancia permite contemplar las condiciones específicas de cada territorio en referencia al agua que consumen sus habitantes, por lo que figura como una fuente de información adicional para la formulación de estrategias por parte de las autoridades ambientales para contrarrestar las problemáticas tras ser identificadas.

El presente estudio de título “Evaluación del Índice de Calidad de Agua para el Consumo Humano en el departamento del Atlántico, Colombia”, pretende reconocer igualmente el estado actual de la calidad del agua a partir del análisis físico, químico y microbiológico de diferentes muestras obtenidas en los veintitrés (23) municipios dentro de la jurisdicción del departamento, para determinar el riesgo potencial que trae consigo para la salud humana. De esta manera, es posible establecer las medidas correspondientes para regular las condiciones sanitarias en materia de agua de consumo en el área de estudio delimitada.

2. Planteamiento del problema

El Departamento del Atlántico cuenta con diferentes fuentes de agua superficiales seguras y confiables, que garantizan la prestación del servicio de acueducto para la demanda actual de agua potable y la ampliación de capacidades para atender la demanda futura. No obstante, gran parte de los sistemas de acueducto en áreas rurales se abastecen a través de pozos profundos que en su mayoría no cuentan con sistemas de tratamiento, sino con sistemas de desinfección. Aunque las coberturas del servicio de acueducto en las cabeceras municipales y en las áreas rurales nucleadas suelen ser altas, entre 98,86% y 94,6%, respectivamente, todavía persisten bajos niveles de calidad, frecuencia y continuidad en este servicio, tanto en el área urbana como en el área rural. Cabe destacar también que, debido a las condiciones de afectación por el cambio climático, los sistemas de acueducto de diferentes municipios ven interrumpidos el suministro de agua potable (Gobernación del Atlántico, 2016).

El departamento del Atlántico en los últimos años ha mostrado avances significativos en la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento básico, pasándose de un esquema de operadores individuales a un esquema de acueductos regionales que permitieron la vinculación de operadores especializados en la mejora de la prestación de servicios, siendo establecidos bajo criterios como las condiciones del territorio y las subregiones. pero pese a ello, algunos municipios aún no han definido la vinculación de un operador especializado, y esto trae consigo una prestación del servicio ineficiente debido a la baja capacidad técnica, administrativa, financiera y comercial de los prestadores de servicios para la operación de los sistemas, a la alta complejidad de los mismos y a la dificultad para la vinculación de un operador especializado con alcance subregional (Gobernación del Atlántico, 2016). Este conjunto de aspectos no afecta únicamente el suministro sino la calidad del recurso hídrico ofrecido, considerando que las

autoridades o en su efecto, los mismos habitantes, tratan de buscar fuentes alternativas para dar respuesta a la necesidad de agua de consumo, lo cual puede incidir en una problemática mucho más notable que puede comprometer el bienestar de los habitantes del departamento.

Para comprender la situación del abastecimiento de agua de consumo desde el ámbito nacional, la autoridad nacional de salud pública debe elaborar informes periódicos que describan la calidad del agua a nivel nacional que destaquen las preocupaciones y prioridades en materia de salud pública en el contexto de las prioridades generales de salud pública (OMS, 2017). Aunque el Informe Anual del Estado de la Vigilancia de la Calidad del Agua pretende orientar las diferentes instituciones del sector de agua potable para la definición de acciones que permitan mejorar la calidad del agua de consumo humano (Ministerio de Salud y Protección Social, 2018), dentro de los resultados del informe más reciente encontrado para el departamento del Atlántico, no parecen contemplarse todas las características de análisis que dispone la normativa nacional para el cálculo del Índice de Riesgo de Calidad del Agua, evaluando generalmente entre cuatro (4) a seis (6) parámetros básicos en aproximado; por debajo de las veintidós (22) características contempladas en la Resolución 2115 de 2007 para asignar un puntaje de riesgo; lo cual no permite reconocer por completo las condiciones de la calidad del agua de consumo humano para el departamento y que se puedan implementar las estrategias correctas para el mejoramiento del servicio de agua potable.

Teniendo en cuenta la información presentada con anterioridad, se plantea como principal problemática del estudio establecer ¿Cuál es el grado del riesgo potencial a la que se ven expuestos los habitantes de los municipios del departamento del Atlántico en cuanto a la calidad de su agua de consumo?

3. Justificación

La calidad del agua es fundamental para el desarrollo y el bienestar humano, tratándose de una cuestión que actualmente preocupa en países de todo el mundo, en desarrollo y desarrollados, por su repercusión en la salud de la población (OMS, 2017).

El agua es esencial para la vida y todas las personas deben disponer de un suministro satisfactorio, que debe cumplir con condiciones relacionadas a su suficiencia, inocuidad y accesibilidad (OMS, 2008). No obstante, la calidad del agua en la actualidad ha venido en decadencia, esto como resultado del incremento de la demanda de este recurso, siendo este un elemento esencial para todas las personas en el mundo.

Una calidad deficiente en el agua representa un riesgo evidente para la salud humana, teniendo en cuenta que las características fisicoquímicas y microbiológicas de la fuente abastecedora y en el sistema de distribución pueden generar efectos negativos para los consumidores, si en esta no se dispone ningún tipo de tratamiento o si el dispuesto no es eficiente para mitigar y prevenir la posible contaminación generada por factores naturales o antrópicos (Gobernación de Boyacá, 2014).

Los requisitos básicos y esenciales para garantizar la seguridad del agua de consumo son un marco que comprenda metas de protección de la salud establecidas por una autoridad con competencia en materia de salud, sistemas adecuados y gestionados correctamente, y un sistema de vigilancia independiente (OMS, 2008). Por esto cada territorio debe contar con un operador que ofrezca un servicio integro de suministro de agua potable en cuanto a su calidad, frecuencia y continuidad, lo cual parece resultar un escenario en retroceso en Colombia, y mucho más notorio en el departamento del Atlántico, considerando que aun con un sistema de operadores especializados, se dificulta cumplir con la demanda actual de agua potable de cada municipio

(Gobernación del Atlántico, 2016). En este mismo sentido, al suministro de agua ofrecido no parece presentar una calidad buena, como lo demuestran los resultados del Índice del Riesgo Índice de Riesgo de Calidad del Agua para consumo humano, donde se observa en consolidado un riesgo medio, valor que ha venido en aumento desde los últimos años (Ministerio de Salud y Protección Social, 2018).

Esto sustenta la necesidad del estudio profundo de esta temática, para el establecimiento de estrategias y estructuras claras, y para aplicar planes de seguridad y sistemas de vigilancia y control de la calidad. A partir de la obtención de información referente y su respectivo análisis, se pueden presentar informes y difundir las conclusiones para adoptar medidas correctivas. A pesar de esto, la información encontrada en relación a la temática que fundamenta el presente estudio resulta insuficiente, puesto que el más reciente Informe Anual del Estado de la Vigilancia de la Calidad del Agua no contempla todos los parámetros necesarios para una correcta evaluación de la calidad de agua de consumo, y los estudios científicos relacionados se encuentran a pequeña escala, siendo limitados en su extensión al abarcar por lo general un único municipio y/o corregimiento del departamento.

Teniendo en cuenta lo anterior, se propone el presente estudio como una medida para aportar información precisa y actualizada con respecto a la calidad del agua para consumo humano en el departamento del Atlántico, originándose entonces como una iniciativa para disponer de un análisis completo de las características físicas, químicas y microbiológicas que inciden en la calidad del agua, adoptando las correspondientes medidas de control y seguimiento frente a la recolección de muestras y parámetros evaluados.

4. Objetivos

4.1.Objetivo general

Evaluar el Índice de Riesgo de Calidad del Agua para consumo humano en el departamento del Atlántico en Colombia.

4.2.Objetivos específicos

- Diagnosticar la calidad de agua para consumo humano del departamento de Atlántico, Colombia.
- Determinar el riesgo potencial asociado al consumo del agua, tomando como referencia la Resolución 2115 del 2007.
- Realizar un análisis comparativo espaciotemporal entre 2016-2018 del Índice de Riesgo de Calidad de Agua para consumo humano en el departamento del Atlántico.

5. Marco referencial

5.1. Calidad de agua

Es aquella determinada de acuerdo al uso al cual se supone destinado el recurso hídrico, los niveles naturales de ciertas sustancias y la presencia de compuestos ajenos al medio natural (Vivas-Aguas, 2011). Básicamente la calidad del agua se encuentra en función de los límites máximos permisibles del conjunto de parámetros que definen la calidad del recurso.

5.1.1. Parámetros de Calidad de Agua.

En este apartado se describen los parámetros físicos, químicos y microbiológicos más representativos de la calidad del agua, tomando en cuenta aquellos considerados dentro del análisis de laboratorio efectuado en el presente estudio.

5.1.1.1. Parámetros Físicos.

5.1.1.1.1. Temperatura.

La temperatura del agua tiene una gran importancia en el desarrollo de los diversos procesos que en ella se dan, de forma que un aumento de la temperatura modifica la solubilidad de las sustancias, aumentando la de los sólidos disueltos y disminuyendo la de los gases. La actividad biológica aproximadamente se duplica cada diez grados, aunque superado un cierto valor característico de cada especie viva, tiene efectos letales para los organismos. Un aumento anormal de la temperatura del agua, suele tener su origen en el vertido de aguas utilizadas en procesos industriales de intercambio de calor. La temperatura se determina mediante termometría realizada “in situ” (Aznar-Jiménez, 2000).

Las mediciones de temperatura se pueden disponer con cualquier termómetro de mercurio. Como mínimo, el termómetro debe tener una escala marcada para cada 0.1 ° C, con marcas grabadas en el cristal capilar. El termómetro debe tener una capacidad térmica mínima para

permitir un rápido equilibrio. Los termómetros están calibrados para inmersión total o inmersión parcial. Uno calibrado para la inmersión total debe estar completamente sumergida en la profundidad del círculo grabado alrededor del vástago justo debajo del nivel de escala (APHA, AWWA & WEF, 1999).

5.1.1.1.2. Turbiedad.

La turbiedad en el agua es causada por materia suspendida y coloidal, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, y otros organismos microscópicos. La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica que hace que la luz se disperse y absorba en lugar de transmitirse sin cambios en la dirección o el nivel de flujo a través de la muestra. La correlación de la turbidez con el peso o el número de partículas de la materia suspendida es difícil porque el tamaño, la forma y el índice de refracción de las partículas afectan las propiedades de dispersión de la luz de la suspensión. Cuando están presentes en concentraciones significativas, las partículas que consisten en materiales que absorben la luz, causan una interferencia negativa. En bajas concentraciones, estas partículas tienden a tener una influencia positiva porque contribuyen a la turbiedad. La presencia de sustancias disueltas que causan color y absorben luz pueden causar una interferencia negativa. Algunos instrumentos comerciales pueden tener la capacidad de corregir una leve interferencia de color o de apagar ópticamente el efecto de color (APHA, AWWA & WEF, 1999).

5.1.1.1.3. Sólidos Totales.

Los sólidos totales es el término aplicado al residuo de material que queda en el recipiente después de la evaporación de una muestra y su posterior secado en un horno a una temperatura definida. Los sólidos totales incluyen sólidos suspendidos totales, es decir, la porción de sólidos retenidos por un filtro, y sólidos disueltos totales, la porción que pasa a través del filtro. El tipo

de porta filtros, el tamaño de los poros, la porosidad, el área y el grosor del filtro y la naturaleza física, el tamaño de las partículas y la cantidad de material depositado en el filtro son los principales factores que afectan la separación de sólidos suspendidos de sólidos disueltos (APHA, AWWA & WEF, 1999).

Los sólidos disueltos son la porción de sólidos que pasa a través de un filtro de tamaño de poro nominal de 2.0 μm (o más pequeño) en condiciones específicas. También, los sólidos fijos es el término aplicado al residuo de sólidos totales, suspendidos o disueltos después de calentar a sequedad durante un tiempo especificado a una temperatura específica. La pérdida de peso en la ignición se llama sólidos volátiles. Los sólidos sedimentables por su parte, es el material que se deposita fuera de la suspensión dentro de un período definido. Puede incluir material flotante, dependiendo de la técnica (APHA, AWWA & WEF, 1999).

5.1.1.1.4. Color, olor y sabor.

Estas características son lo que se denomina propiedades organolépticas o determinables por los sentidos. No suelen ser una medida precisa del nivel de contaminación, aunque su presencia es un indicio de que la depuración de un efluente no está siendo correcta. Tiene gran importancia en aguas con capacidad de potabilización, por el rechazo que puede darse en el consumidor al detectar colores, olores o sabores que no asocie con “agua pura”.

El término color se suele emplear para indicar el color verdadero, es decir, el color del agua del que se ha eliminado la turbiedad. El término color aparente incluye no solo el color debido a las sustancias en solución, sino también el debido a la materia suspendida. El color aparente se determina en la muestra original sin filtración ni centrifugación. En algunas aguas residuales industriales altamente coloreadas, el color es contribuido principalmente por material coloidal o suspendido. En tales casos, se debe determinar tanto el color verdadero como el color aparente.

El color se elimina para hacer un agua adecuada para aplicaciones generales e industriales (APHA, AWWA & WEF, 1999). Para el color no existe una relación directa entre este y el grado de contaminación, pues al tratarse de un parámetro fuertemente influido por interferencias con otras sustancias coloreadas, es difícil su evaluación absoluta. Dado que muchas de las sustancias coloreadas se degradan con el tiempo, la determinación del color se debe realizar en las veinticuatro horas posteriores a la toma de muestra, conservándose las mismas refrigeradas (2-5 °C) y en la oscuridad. La determinación del color se efectúa visualmente empleando luz diurna difusa sobre fondo blanco, o mediante el uso de un espectrofotómetro visible (Aznar-Jiménez, 2000).

El olor, al igual que el gusto, depende del contacto de una sustancia estimulante con la célula receptora humana apropiada. Los estímulos son de naturaleza química y el término "sentidos químicos" a menudo se aplica al olor y al gusto. El agua es un medio neutro, siempre presente en o en los receptores que perciben la respuesta sensorial. En su forma pura, el agua está libre de olores. El hombre y otros animales pueden evitar muchos alimentos y aguas potencialmente tóxicos debido a la respuesta sensorial adversa. Estos sentidos a menudo proporcionan la primera advertencia de peligros potenciales en el medio ambiente (APHA, AWWA & WEF, 1999).

Los olores generalmente son producidos por sustancias volátiles o gaseosas, y suelen ser debidos a materia orgánica en descomposición o productos químicos producidos o empleados en la industria y tratamiento de aguas residuales. El olor se determina por sucesivas diluciones de la muestra original con agua inodora ($T \approx 40\text{ }^{\circ}\text{C}$) hasta que es indetectable (umbral de percepción), siendo un ensayo muy subjetivo y de escasa reproducibilidad. Las muestras deben conservarse en vidrio un máximo de 6 horas entre 2 a 5 °C.

El sabor suele estar asociado al olor por su respuesta fisiológica parecida. Algunas sustancias, pueden modificar el sabor, sin alterar el color del efluente. Su determinación se efectúa, por dilución hasta determinar el umbral de percepción y sólo se realizará con muestras que sean sanitariamente aptas para consumo humano (Aznar-Jiménez, 2000).

5.1.1.2. Parámetros Químicos.

5.1.1.2.1. Potencial de Hidrogeno (pH).

El pH o la actividad de los iones hidrógeno indican, a una temperatura dada, la intensidad de las características ácidas o básicas del agua. El pH se define como el logaritmo de la inversa de la actividad de los iones hidrógeno, $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ $[\text{H}^+] =$ actividad de los iones hidrógeno en mol/L (APHA, AWWA & WEF, 1999).

Se determina mediante electrometría de electrodo selectivo (pHmetro) conservando la muestra en frasco de polietileno o vidrio de borosilicato en nevera menos de 24 horas, obteniendo la concentración en valores de pH comprendidos entre 1 y 14. Las aguas con valores de pH menores de 7 son aguas ácidas y favorecen la corrosión de metales en contacto con ellas, y las que poseen valores mayores de 7 se denominan básicas y pueden producir precipitación de sales insolubles. En las medidas de pH se debe tener presente que sufren variaciones con la temperatura y los valores indicados son para 20 °C (Aznar-Jiménez, 2000).

5.1.1.2.2. Alcalinidad.

La alcalinidad de un agua es su capacidad neutralizadora de ácidos, estando provocada mayoritariamente por los iones carbonato (CO_3^-) y bicarbonato (HCO_3^-), aunque está también influida por el contenido en otros como boratos, fosfatos, silicatos y oxidrilos. Es la suma de todas las bases titulables. El valor medido puede variar significativamente con el pH de punto final utilizado. La alcalinidad es una medida de una propiedad agregada del agua y puede

interpretarse en términos de sustancias específicas solo cuando se conoce la composición química de la muestra. Las mediciones de alcalinidad se utilizan en la interpretación y el control de los procesos de tratamiento de agua y aguas residuales (APHA, AWWA & WEF, 1999). Se determina por valoración con ácido, determinando los puntos de equivalencia mediante electrodo selectivo de pH o indicadores adecuados, obteniéndose de los puntos de inflexión o puntos de equivalencia los valores de alcalinidad compuesta (carbonatos $\text{pH} \approx 8,3$) y la alcalinidad total (bicarbonatos + carbonatos $\text{pH} \approx 4,5$) (Aznar-Jiménez, 2000).

5.1.1.2.3. Conductividad.

La conductividad es una medida de la capacidad de una solución acuosa para transportar una corriente eléctrica. Esta habilidad depende de la presencia de iones; en su concentración total, movilidad y valencia; y sobre la temperatura de medida. Las soluciones de la mayoría de los compuestos inorgánicos son conductores relativamente buenos. A la inversa, las moléculas de compuestos orgánicos que no se disocian en solución acuosa conducen una corriente muy mala, si es que lo hacen (APHA, AWWA & WEF, 1999). El agua pura se comporta como aislante eléctrico, siendo las sustancias en ella disueltas las que proporcionan al agua la capacidad de conducir la corriente eléctrica. Se determina mediante electrometría con un electrodo conductimétrico, expresándose el resultado en micro siemens cm^{-1} ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Las muestras deben analizarse preferiblemente “in situ”, o conservarse en frascos de polietileno, nunca de vidrio sódico, en nevera (2-4 °C) y en oscuridad durante un máximo de 24 horas, teniendo la precaución de termostatarlas a 25 °C antes de realizar la determinación (Aznar-Jiménez, 2000).

5.1.1.2.4. Dureza.

La dureza total se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, ambas expresadas como carbonato de calcio, en miligramos por litro. Cuando la dureza numérica es

mayor que la suma de la alcalinidad de carbonato y bicarbonato, esa cantidad de dureza equivalente a la alcalinidad total se llama "dureza de carbonato"; la cantidad de dureza en exceso de esto se denomina "dureza sin carbonato". Cuando la dureza numéricamente es igual o menor que la suma de la alcalinidad de carbonato y bicarbonato, toda la dureza es dureza del carbonato y la dureza sin carbonato está ausente. La dureza puede variar de cero a cientos de miligramos por litro, dependiendo de la fuente y el tratamiento al que se haya sometido el agua (APHA, AWWA & WEF, 1999). La presencia de este tipo de iones en el agua suele ser de origen natural, y raramente antrópica. Se obtiene a partir de la determinación por separado del contenido en calcio y magnesio de la muestra o de manera conjunta por compleximetría con EDTA. (Aznar-Jiménez, 2000).

5.1.1.2.5. Cloruro (Cl^-), cloro (Cl_2) e hipoclorito (ClO^-).

La presencia de estas especies es, generalmente, debida a la cloración del agua para su desinfección, así como a procesos de salinización por aguas marinas. Los cloruros se determinan por valoración o potenciométricamente, mientras que el cloro libre y combinado se determina por espectrofotometría (Aznar-Jiménez, 2000).

5.1.1.2.6. Nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-).

La oxidación aeróbica de los compuestos amoniacales y órgano nitrogenados, conduce a la formación de nitritos y posteriormente de estos en nitratos, por lo que un elevado contenido en nitratos y simultáneamente bajo en amonio, indica que se trata de un agua contaminada hace tiempo. Tanto nitritos como nitratos se pueden determinar mediante espectrofotometría de adsorción o empleando electrometría de electrodos selectivos (Aznar-Jiménez, 2000).

5.1.1.2.7. Fósforo total.

El fósforo es uno de los nutrientes fundamentales de todos los seres vivos, de forma que contenidos anormalmente altos en las aguas pueden producir un crecimiento incontrolado de la biomasa acuática. Aunque el fósforo no presenta toxicidad en seres vivos, la presencia de fosfatos en aguas potables indica la posibilidad de contaminación del acuífero por aguas contaminadas o residuales (Aznar-Jiménez, 2000). Debido a que el fósforo se encuentra presente en cantidades relativamente altas en aguas residuales y aguas de riego agrícola, su presencia en valores mayores a los valores normales en aguas potables puede deberse a una contaminación o infiltración de aguas residuales al yacimiento de agua potable (Oocities, 2009). La determinación se efectúa por espectrofotometría, siendo necesaria la digestión previa de las polifosfatos en fosfatos, para su análisis posterior (Aznar-Jiménez, 2000).

5.1.1.2.8. Hierro.

La solubilidad del ion ferroso (Fe_2^+) está controlada por la concentración de carbonato. Debido a que el agua subterránea a menudo es anóxica, cualquier hierro soluble en el agua subterránea generalmente se encuentra en estado ferroso. En la exposición a la adición de oxidantes, el hierro ferroso se oxida al estado férrico (Fe_3^+) y puede hidrolizarse para formar un óxido férrico hidratado, insoluble, rojo. En ausencia de iones formadores de complejos, el hierro férrico no es significativamente soluble a menos que el pH sea muy bajo (APHA, AWWA & WEF, 1999). El hierro no representa un problema de toxicidad, pero la calidad del agua no es la deseada cuando se tienen altos valores de este elemento. Cuando este metal precipita el agua dónde originalmente se encuentran disueltos, forma depósitos color amarillo o café oscuro, o una lama negra sumamente desagradable. Esta precipitación ocurre cuando el agua tiene contacto con el aire y se oxidan los metales ocurriendo la precipitación. También el consumo de agua con

hierro por arriba de la norma de calidad establecida causa problemas de sabor en el consumidor no acostumbrado (Oocities, 2009).

5.1.1.3. Parámetros Microbiológicos.

5.1.1.3.1. Coliformes.

Los organismos patógenos están dentro del grupo de los coliformes, pero no todos los coliformes son patógenos, por lo que la presencia de coliformes en una muestra de agua no necesariamente indica la presencia de organismos causantes de enfermedad, sin embargo, para considerar un agua segura para beber o para actividades en las cuales el hombre tiene contacto íntimo con el agua, debe estar libre de organismos coliformes. Los coliformes se determinan por medio de la técnica de Número Más Probable (NMP) y por cuenta en placa en un medio de cultivo que es específico para el crecimiento de bacterias coliformes. Los resultados se manejan por medio de cuenta en placa a las 24, 48 y 72 horas y se considera la dilución, si la muestra original fue diluida (Oocities, 2009).

5.2. Índice de Riesgo de la Calidad de Agua para Consumo Humano.

El Índice de Riesgo de la Calidad de Agua (IRCA) es una herramienta que permite identificar la calidad de agua de un cuerpo superficial o subterráneo en un tiempo determinado. En general, incorporando datos de múltiples parámetros físicos, químicos y biológicos, en una ecuación matemática, mediante la cual se evalúa el estado de un cuerpo de agua (Yogendra & Puttaiah, 2008). En este caso, permite reconocer el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características propias del agua para consumo humano, siendo el resultado de asignar el puntaje de riesgo contemplado en la Resolución 2115 de 2007 a las características contempladas por el no cumplimiento de los valores aceptables establecidos.

5.3. Calidad del Agua en el departamento del Atlántico.

La información comprendida en este apartado corresponde a los resultados del Informe Nacional de la Calidad del Agua (INCA) para consumo humano del año 2016, expedido en 2018 por el Ministerio de Salud y Protección Social.

De acuerdo a los registros, los 23 municipios del departamento de Atlántico reportaron información de la calidad del agua para consumo humano en el Sistema de Información de Vigilancia de la Calidad del Agua (SIVICAP); en total se registraron 820 muestras que permitieron obtener un IRCA consolidado para el departamento de 21,90 considerándose el agua con riesgo medio. El 52,2 % (12) de los municipios tuvieron agua sin riesgo, el 8,7% (2) presentó riesgo bajo, el 17,4% (4) riesgo medio y el 21,7% (5) presentó riesgo alto. Los municipios con alto riesgo correspondieron a Campo de la Cruz, Luruaco, Palmar de Varela, Repelón y Sabanalarga, como se parecía en la Figura 1.

Figura 1. Riesgo de Calidad de Agua en el Departamento del Atlántico.

Fuente: SISPRO - Ministerio de Salud y Protección Social (2018)

5.4 Cobertura de la Vigilancia de la Calidad del Agua en Atlántico.

De acuerdo a lo reportado en el SIVICAP por las entidades territoriales, en el departamento se tomaron muestras de 52 entidades prestadoras. Del total de muestras reportadas durante el 2016, el 45,1% (370) fueron tomadas en la zona urbana, siendo el IRCA de 7,5 correspondiente a riesgo bajo; mientras que el 11,3% (93) de las muestras fueron tomadas en la zona rural con un

IRCA de 29,4 para un nivel de riesgo medio y no hubo información de la zona de reporte para el 43,5% (357) de las muestras.

Todos los municipios reportaron datos en la zona urbana, de los cuales, el 65,2% (15) presentó agua sin riesgo, el 13,0% (3) riesgo bajo, el 17,4% (4) riesgo medio y el 4,3% (1) riesgo alto. Por su parte, el 43,5% (10) de los municipios reportaron muestras en la zona rural, de los cuales el 50,0% (5) presentó agua sin riesgo, el 10,0% (1) riesgo medio y el 40,0% (4) nivel de riesgo alto.

5.4.1 Comportamiento del IRCA y tendencia nivel de riesgo en Atlántico.

El IRCA para el departamento de Atlántico en el año 2016 fue de 21,9% para un nivel de calidad de riesgo medio. Por medio de un análisis de los datos dispuestos por el SIVICAP desde el año 2004 hasta la actualidad, se observa que durante los años de 2007 hasta el 2012 el IRCA presentaba un comportamiento estable con un nivel de calidad de riesgo bajo y a partir del 2013 el valor del IRCA empezó a aumentar hasta alcanzar riesgo medio en el 2015 y 2016, como lo muestra la Figura 2.

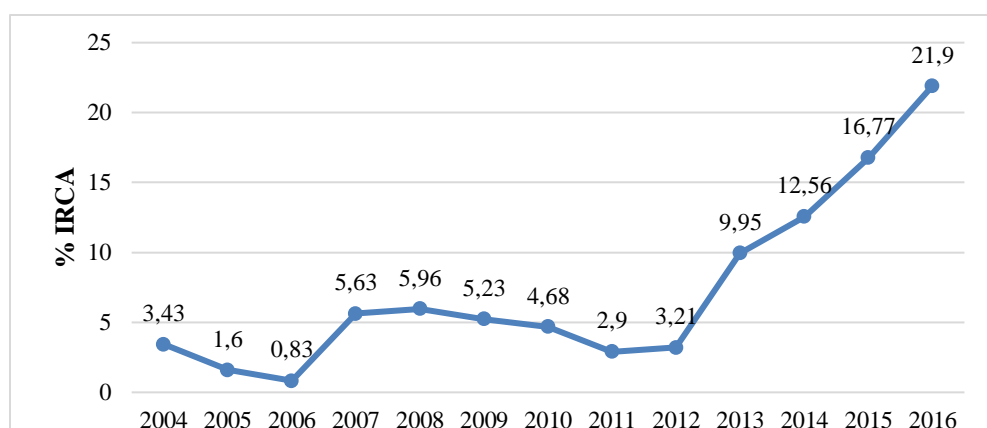


Figura 2. Tendencia del IRCA consolidado. Fuente: SIVICAP – Instituto

Nacional de Salud (2018)

Este comportamiento resulta inquietante, debido a que el nivel de riesgo de consumo de agua potable debería disminuir conforme al establecimiento de operadores especializados para este servicio en el departamento y a la implementación de medidas por parte de las autoridades regionales competentes. Sin embargo, la representación gráfica demuestra un incremento en los valores consolidados en los últimos 5 años.

6. Estado del arte

Las fuentes de aguas superficiales representan una base fundamental para el bienestar de los seres humanos, que permiten su abastecimiento para las diferentes actividades cotidianas (Simeonov et al., 2003). No obstante, a nivel mundial se evidencian diferentes problemas relacionados con la ocurrencia, el uso y el control de los recursos hídricos, que pueden poner en peligro el desarrollo sostenible de este mismo recurso (Tomas, Čurlin, & Marić, 2017).

Teniendo en cuenta que en todo el mundo existe gran variedad de fuentes para obtención del líquido, tratándose en diferentes partes las principales fuentes de abastecimientos asociadas a ríos con 68% de la población y lugares sin tratar con un 60% de la población (Levy, Nelson, Hubbard, & Eisenberg, 2012). Estas prácticas pueden llegar a deteriorar el recurso hídrico, tomando en este sentido a las influencias antropogénicas y a los procesos naturales como uno de los principales componentes que degradan la calidad del agua a nivel mundial (Simeonov et al., 2003).

En este ámbito, se encuentran diferentes metodologías para la evaluación de la calidad del agua, las cuales permiten tomar acciones de control y mitigación del mismo, donde se establece como una de las herramientas más relevantes al cálculo de los índices de calidad de agua, los

cuales pueden estimarse mediante análisis físicos, químicos y microbiológicos de las muestras de agua estudiadas (Torres, Cruz, & Patiño, 2009).

Es posible observar diversa variedad de estudios relacionados con esta temática, que involucran diferentes metodologías para el análisis completo y eficiente de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que determinan la calidad del agua. En el año 2013 fue desarrollado un estudio por un grupo de expertos en monitoreo de calidad de agua durante dos temporadas en las Filipinas; la primera después de 3 semanas del tifón de Haiyan del 2013, aproximadamente en el mes de noviembre, y la segunda después 10 meses de este mismo en el siguiente año. Este estudio se basaba en analizar 121 muestras de agua recolectadas en la primera temporada, dando como resultado que el 44% se encuentra contaminadas con *Escherichia Coli*, mientras que el 65% (244/373) de las muestras resultaron positivas 10 meses después del tifón de Haiyan, demostrando que millones de personas habían estado consumiendo aguas contaminadas por patógenos con la presencia de *E. Coli* inmediatamente y aun 10 meses después, lo que aumentaba el riesgo de enfermedad para una población ya vulnerable (Tante, Villa, Pacho, Galvan, & Corpuz, 2015).

De igual manera, en 2013 fue realizado un estudio en la ciudad de Pogradec, Albania el cual tuvo como objetivo determinar la calidad del agua potable mediante el modelo CCME WQI, el cual constaba de tres medidas de variación de los objetivos de calidad del agua seleccionados (alcance, frecuencia, y amplitud). Alcance representaba el porcentaje de variables que no cumplían con sus objetivos, frecuencia el porcentaje de pruebas individuales que no cumplían los objetivos, y amplitud la cantidad por el cual los valores de prueba fallidos no cumplían sus objetivos. Estos tres factores se combinaban para producir un valor entre 0 y 100 que representaba la calidad general del agua, donde 0 denotaba la "Peor" calidad del agua y 100

denotaba la "Mejor" calidad. Con los resultados obtenidos por este modelo, los autores concluían que la calidad de agua en la ciudad era buena (Damo & Icka 2013).

Entre estudios más recientes encontrados, en el año 2016 por ejemplo, se percibe un estudio que comprendía el análisis de la calidad del agua en Islandia, donde se tomaron un conjunto de datos que contenían los resultados del monitoreo de auditoría de 345 muestras proporcionadas por las autoridades competentes locales y las empresas de servicios de agua de 79 acuíferos que prestaban servicios a 74 sistemas de suministro de agua. Posteriormente, fue resuelto un análisis químico en donde se midieron parámetros tales como el pH, la turbidez, la conductividad y la temperatura. A partir de esto, se obtuvo que la calidad química del agua potable para este país generalmente era buena y que esta cumplía con la normativa establecida por dicho país en un 99 por ciento. (Gunnarsdottir, Gardarsson, Jonsson, & Bartram, 2016).

Otro estudio fue encontrado en zonas rurales de Bangladesh, en cual se tomaron 24 regiones seleccionadas al azar y se midieron las concentraciones de arsénico con un kit de prueba, que posteriormente se validó en un laboratorio. También se realizaron pruebas de parámetros químicos tales como hierro, manganeso y salinidad, y se determinó el pH del agua utilizando un medidor de pH portátil, siendo todos estos parámetros comparados con la normativa de la OMS. Como resultados importantes se obtuvieron principalmente que el pH se encontraba dentro de límites aceptables, que los miembros del hogar se veían expuestos a cantidades excesivas de hierro en comparación con el manganeso (82% frente a 18%), y que alrededor de la mitad de los hogares excedieron los límites aceptables de exposición al manganeso al considerar las normas de Bangladesh (Akter et al., 2016).

Situando un enfoque a nivel nacional, en el departamento de Cundinamarca, en específico en el municipio de Bojacá, fue acondicionado un estudio basado en verificar la calidad del agua

para el consumo humano. Para ello fueron efectuados dos muestreos en diferentes lugares de la red de distribución: Las fuentes naturales y los tanques de almacenamiento domiciliario. De igual manera, fueron utilizados métodos fotométricos, electrométricos y volumétricos en los respectivos análisis físicos y químicos, mientras que para los parámetros microbiológicos fue empleada la técnica de filtración por membrana. Los resultados más relevantes obtenidos evidenciaron que la mayoría de las muestras no cumplieron con el valor mínimo permisible de cloro residual libre, por lo tanto, según el IRCA fueron clasificadas como no aptas para consumo humano (Estupiñán & Avila, 2010).

Por su parte, en el departamento de Tolima se destaca un estudio en el año 2012 que contaba con el objetivo de verificar la calidad del agua para el consumo humano y su relación con la incidencia de enfermedades de hepatitis y diarrea aguda. Para esto fueron tomados 47 municipios del presente departamento y se revisaron datos del Subsistema de Información de Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano (SIVICAP) para conocer el número de muestras y el Índice de Riesgo de Calidad de Agua para Consumo Humano (IRCA), donde se obtenía que el 63.83% de los municipios presentaron agua no aptas para el consumo humano. El estudio a su vez, arrojaba que en el 27.7% de las muestras se evidenciaron presencia de coliformes, y que no se presentaba incidencia entre las enfermedades y la calidad del agua (Briñez, Guarnizo, & Arias, 2012).

Un estudio elaborado en el departamento de Santander se basaba en el análisis del IRCA y su relación con el comportamiento de los parámetros meteorológicos de precipitación y temperatura, entre los años 2012 y 2013 en los 39 municipios del departamento, y utilizando el SIVICAP para la obtención de datos. Este estudio demostraba que 75% de las muestras presentaban un IRCA sin riesgo para el año 2012, y que el siguiente año se encontraba que un 83.16% de las muestras no presentaban riesgo. También se observaba que el municipio que contaba un con riesgo alto en la

calidad del agua correspondía a Cáchira, cuyo IRCA era de 55,25%, lo cual indicaba un alto grado de contaminación, especialmente por *E. Coli* y coliformes totales (López & Cufiño, 2016).

Un estudio similar al anterior mencionado pero situado a nivel regional hace referencia al análisis del IRCA y su relación con variables meteorológicas como la precipitación y la temperatura para el departamento del Atlántico en los años 2012 al 2013, el cual se considera pertinente al tomar en cuenta la calidad del agua para cada municipio dentro del departamento y su influencia con el comportamiento climático, el cual se debe en gran manera a su ubicación geográfica por tratarse de un área costera. Dentro de los resultados obtenidos se destaca que el IRCA consolidado para cada municipio del Atlántico en el año 2012 mostraba que el 73.9% de los municipios contaba con una tendencia sin riesgo, un 8.7% riesgo bajo y un 17.4% riesgo medio, lo cual indicaba que en este año no se reportaba ningún municipio con riesgo alto o inviable sanitariamente. Por otro lado, en el año 2013 se reportaba un 56.52% de los municipios sin riesgo, un 17.39% con riesgo bajo, un 21.74% con riesgo medio y finalmente un 4.35% riesgo alto. Es decir, que en el año 2013 al igual que en el 2012 ningún municipio presentaba riesgo alto o inviable sanitariamente. Dentro de los resultados de las correlaciones con las variables meteorológicas se estimaban impedimentos relacionados con la deficiencia en la obtención de datos de precipitación y temperatura, además de que el coeficiente implementado no permitía obtener la profundidad estadística deseada, y las correlaciones encontradas resultaron poco representativas (Rodríguez & Moreno, 2016).

7. Marco legal

El marco legal de referencia en el presente estudio involucra diferentes normativas nacionales regidas entorno a calidad de agua en el país. La normativa aplicable escogida se encuentra recopilada en la Tabla 1.

Tabla 1.

Marco Legal de Calidad de Agua de Consumo Humano.

Normativa	Entidad que expide	Descripción
Decreto 1575 de 2007	Presidencia de la Republica de Colombia	“Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano”.
Resolución 2115 de 2007	Ministerio de la Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	“Por medio del cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”.
Resolución 0811 de 2008	Ministerio de la Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	“Por medio del cual se definen los lineamientos a partir de los cuales la Autoridad Sanitaria y las Personas Prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución”

Resolución 4716 de 2010	Ministerio de la Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	“Por medio de la cual se reglamenta el parágrafo del artículo 15 del Decreto 1575 de 2007”, mediante el cual se establecen las condiciones para elaborar los Mapas de Riesgo de la calidad del agua para consumo humano.
-------------------------	---	--

Descripción de marco legal (Fuente: Elaboración Propia).

La aplicabilidad de la normativa se puede evidenciar durante el desarrollo del documento; sin embargo, se considera pertinente resaltar en síntesis la relación de cada una con el estudio dispuesto. En primera medida, el Decreto 1575 de 2007 permite identificar los responsables del control y vigilancia de la calidad del agua de consumo, los riesgos para la salud humana y los instrumentos básicos para su garantía. En segunda medida, la Resolución 2115 de 2007 permite establecer los valores máximos aceptables para las características físicas, químicas y microbiológicas del agua, sobre las cuales se determinan los puntajes de riesgo para el cálculo del IRCA y su respectiva clasificación del nivel de riesgo resultante. Por su parte, la Resolución 0811 de 2008 define los criterios para la localización de los puntos de muestreo y el número mínimo de puntos dependiendo de la población. Por último, la Resolución 4716 de 2010 representa una base que facilita la georreferenciación de los datos obtenidos dentro de un mapa de riesgos que encierre los resultados finales.

8. Metodología

8.1. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el departamento del Atlántico, uno de los 32 de Colombia que se encuentra ubicado en la Región Caribe y al cual lo conforman 23 municipios, los cuales se pueden apreciar de forma detallada en la tabla 2. Sus zonas aledañas son el departamento de Bolívar y Magdalena, limitando al norte con el Mar Caribe. Cuenta con 2.166.156 habitantes aproximadamente, (DANE, 2005; Plan de Desarrollo Municipal, 2016).

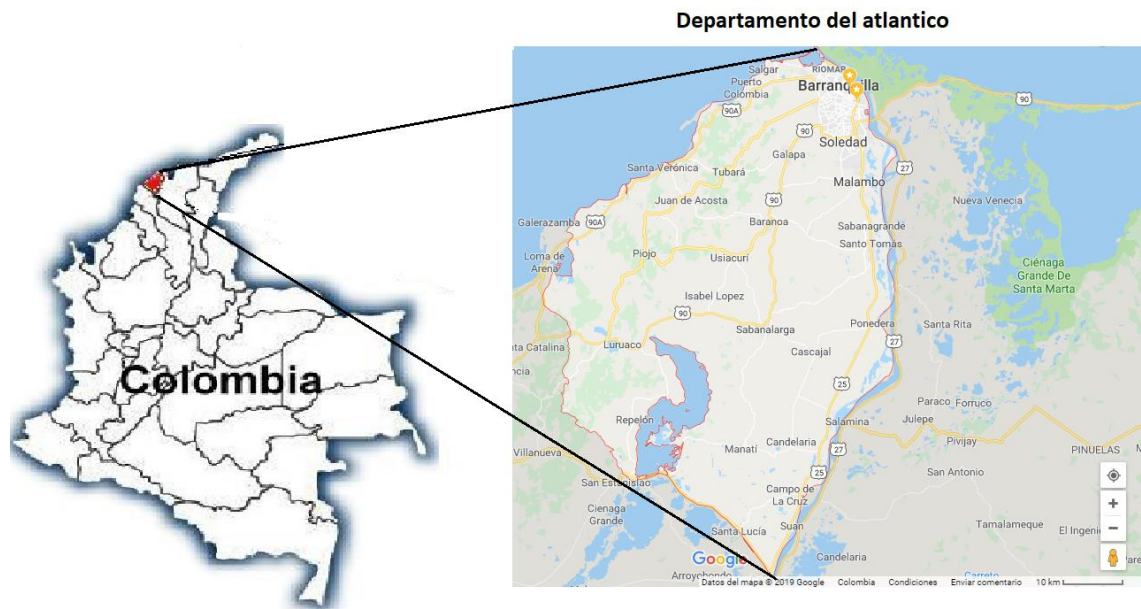


Figura 3. Ubicación del Departamento del Atlántico. **Fuente:** Adaptación para Ubicación del Departamento del Atlántico (CDIM, 2009.) – Google Maps 2019.

En la Figura 3, se puede observar la ubicación geográfica del departamento del Atlántico, algunas de sus limitaciones y municipios que lo conforman, los cuales se pueden observar en la tabla 2.

Tabla 2.*Municipios que conforman el departamento del Atlántico y sus coordenadas.*

Municipio	Coordenada
Barranquilla	10°58'34.6"N 74°48'24.9"W
Puerto Colombia	10°59'19.8"N 74°57'16.4"W
Soledad	10°54'35.0"N 74°47'09.0"W
Galapa	10°53'54.5"N 74°53'02.1"W
Tubará	10°52'32.8"N 74°58'40.8"W
Malambo	10°51'25.8"N 74°46'30.7"W
Sabanagrande	10°47'21.3"N 74°45'19.6"W
Santo Tomas	10°45'37.2"N 74°45'17.4"W
Polonuevo	10°46'40.7"N 74°51'14.6"W
Baranoa	10°47'46.6"N 74°54'54.6"W
Palmar de Varela	10°44'25.5"N 74°45'18.8"W
Ponedera	10°38'32.9"N 74°45'13.4"W
Sabanalarga	10°37'56.2"N 74°55'13.9"W
Usiacurí	10°44'33.9"N 74°58'39.2"W
Juan de Acosta	10°49'46.7"N 75°02'01.9"W
Candelaria	10°27'34.2"N 74°52'50.4"W
Campo de la Cruz	0°22'46.6"N 74°52'56.1"W
Piojó	10°44'56.8"N 75°06'28.8"W
Manatí	10°26'53.8"N 74°57'34.4"W
Luruaco	10°36'36.0"N 75°08'33.8"W

Repelón	10°29'39.4"N 75°07'24.9"W
Santa Lucía	10°19'27.7"N 74°57'37.3"W
Suan	10°20'01.5"N 74°52'47.4"W

Municipios que conforman el departamento del Atlántico (Fuente: elaboración propia).

El departamento del Atlántico se encuentra conformado por 23 municipios, el cual tiene que la región norte cubre los municipios de Tubará, Juan de Acosta, Piojó y Usiacurí; la regional oriental cubre a Sabanagrande, Santo Tomás, Polonuevo, Baranoa y Palmar de Varela. En la regional Centro se encuentran Sabanalarga y Ponedera, y en la regional Sur Manatí, Candelaria y Campo de la Cruz.

8.2. Recolección de muestras.

La recolección de las muestras de agua para su análisis experimental fue dispuesta de acuerdo a lo establecido en la Resolución 0811 de 2008; sin embargo, primeramente, se debe aclarar que, al tratarse de un estudio informal de pregrado, no se contaban con los recursos requeridos para adoptar el número mínimo de puntos de muestreo que señala la normativa con respecto a la población de cada municipio. Por lo tanto, se propuso contar con 2 puntos para el año 2016 y 3 puntos de muestreo para el año 2018, los cuales son representativos de la calidad del servicio de agua potable ofrecido, y se espera que para estudios futuros sea ampliado un mayor número de puntos muestreados.

Para el 2016 el criterio de recolección se basó en tomar una muestra en un punto cercano a la red de distribución o planta de tratamiento; mientras que la segunda muestra fue recolectada en un punto en el extremo más alejado de la red de distribución en el municipio.

En este caso de 2018, se consideraron los criterios para puntos de recolección de muestras en redes de distribución. La primera muestra fue recolectada entonces, en un punto inmediatamente después del accesorio o componente donde terminaba las tuberías de conducción y se daba inicio a la red de distribución; mientras que la segunda muestra fue recolectada en un punto en el extremo más alejado de la red de distribución. Por último, fue sugerido a criterio propio, un punto que se encuentre en un área con densidad poblacional considerable ya sea colegio, hospital o universidad dependiendo el caso del municipio.

Durante la recolección fueron consideradas diferentes indicaciones para asegurar la integridad de la muestra. En primera medida, debía recolectarse de la llave previamente desinfectada, procurando no llenar el recipiente por completo con el propósito de dejar un espacio de aire dentro de este. Para el análisis de las características fisicoquímicas del agua, la muestra fue recolectada en un recipiente con un volumen de 600 mL; mientras que, para las características microbiológicas, los recipientes correspondían a frascos esterilizados con una autoclave de vapor de un volumen de aproximadamente 300 mL.

Tras esto, se procedió a cerrar el recipiente y a refrigerarlo durante su transporte hasta el laboratorio del Centro de Investigación en Tecnologías Ambientales (CITA), de la Universidad de la Costa, donde se efectuaría la caracterización fisicoquímica y microbiológica descrita en el siguiente apartado.

8.3. Análisis de laboratorio.

El análisis de laboratorio abarcó la caracterización de un total de dieciocho (18) parámetros físicos, químicos y microbiológicos representativos de la calidad del agua, para estos análisis se

utilizaron las metodologías expuestas por el Standard Methods edición 20 buscando una confiabilidad de los datos.

8.3.1 Caracterización Fisicoquímica.

El estudio comprende en un inicio una caracterización de los parámetros fisicoquímicos para las muestras de agua. Todos los procedimientos efectuados se disponen estandarizados por el libro Standard Methods edición 20. A continuación los parámetros utilizados, los cuales se pueden apreciar en la Tabla 3.

Tabla 3.

Características fisicoquímicas evaluadas.

Parámetro	Código Estándar	Unidades
Color Aparente	2120 B	UPC
Turbiedad	2130 B	NTU
Olor	2150	-
Sabor	2160	-
Alcalinidad Total	2320 B	mg CaCO ₃ /L
Dureza Total	2340 C	mg CaCO ₃ /L
Conductividad	2510 B	μS/cm
Salinidad	2520 B	ppt
Sólidos Disueltos Totales	2540 C	mg/L
Temperatura	2550 B	°C
pH	4500 -H ⁺	-
Cloruros	4500 Cl ⁻ B	mg/L
Cloro Residual	4500 ClB	mg/L

Fosfatos	4500 PP	mg PO ₄ ³⁻ /L
Hierro	3500 -Fe	mg Fe /L
Nitritos	4500 -NO ₂ ⁻	mg NO ₂ ⁻ /L

Descripción de los parámetros medidos su código y sus unidades en la cual se realizó la medida, (Fuente: Propia.)

8.3.1.1. Color Aparente.

Para el procedimiento de color aparente se tomaron dos tubos de vidrio, a uno se le agregó agua destilada y al otro, la muestra problema. Luego se encendió el equipo y se procedió a hacer una comparación con los colores estándares establecidos por el equipo, mirando verticalmente hacia abajo a través de los tubos hacia una superficie blanca o especular colocada en un ángulo tal que la luz se viera reflejada hacia arriba a través de las columnas de líquido. Para el color aparente se hace la lectura de la muestra con presencia de turbiedad, por lo que se esperan valores más altos que en el color real. Si el color aparente superaba las 70 unidades, se debía diluir la muestra con agua destilada en proporciones conocidas hasta que el color se encontrara dentro del rango de los estándares.

Para calcular las unidades de color se implementa la siguiente ecuación en casa de que la muestra sea diluida.

Ecuación 1. Unidades de color en muestra diluida.

$$\text{Unidades de Color (UPC)} = \frac{A \times 50}{B}$$

Dónde: A = Color estimado de la muestra diluida y B = Volumen de la muestra tomada para dilución.

8.3.1.2. Turbiedad.

Para el procedimiento de turbiedad, se tomó un volumen de aproximadamente 100 mL de la muestra en un beacker. Se debe tener en cuenta que para ingresar la muestra en el equipo se debe hacer por medio de las celdas, estas deben ser previamente lavadas con agua destilada, y luego de la adición de la muestra en la celda, la cual se introduce por encima de la franja blanca, se limpian las celdas con papel. Luego al introducir la celda se verificó que la flecha tanto de la celda como del equipo estuviera en el mismo lugar. Finalmente, se leyó la turbidez directamente desde la pantalla del instrumento.

8.3.1.3. Olor.

La nariz humana es el dispositivo práctico de prueba de olores utilizado en este método. Las pruebas de olor se realizan para proporcionar descripciones cualitativas y mediciones cuantitativas aproximadas de la intensidad del olor.

8.3.1.4. Sabor.

Los métodos para el análisis sensorial requieren que la muestra se tome en la boca.

8.3.1.5. pH.

El método de medición de pH consiste en la determinación de la actividad de los iones hidrógeno por medidas potenciométricas usando un electrodo combinado o un electrodo estándar de hidrógeno de vidrio con un electrodo de referencia. Para iniciar, se tomó un volumen de agua de 100 ml y se introdujo el electrodo del pH-Metro, tomando el resultado arrojado e indicando la temperatura.

8.3.1.6. *Cloruros.*

La concentración de cloruros se determina en una solución neutra o ligeramente alcalina por titulación con Nitrato de Plata. Para iniciar, se midieron 25 mL de muestra en un matraz aforado. Para esto, se añadió la muestra hasta que faltara aproximadamente un centímetro para el aforo (marca de envase) y se completó con un gotero. Después se vertieron los 25 mL en el Erlenmeyer de 250 mL y se agregaron 3 gotas del indicador Cromato de Potasio. Luego se tituló, agregando en una bureta solución de Nitrato de Plata en concentración de 0.01 N, se agitó y añadió gota a gota hasta el viraje cambió hasta un punto final de color amarillo a rosado, y se determinó el volumen de titulante gastado en la bureta.

Ecuación 2. Concentración de Cloruros en muestra.

$$\text{Cloruros} \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{A \times N \times 35450}{ml \text{ de la muestra}}$$

Dónde: A = mL de titulante gastados y N = Normalidad del titulante.

8.3.1.7. *Cloro Residual.*

Para este procedimiento se utilizó una kit químico para para muestras de cloro libre el cual consta de dos reactivos y una escala en la cual se puede observar la concentración de este, para realizar esta prueba de tomas la muestra hasta donde lo indica la escala o se tapa, posteriormente se procede agregar los reactivos y agitar hasta que este cambie de color, se verifica el cambio de color con la escala y de esta forma se obtiene la concentración de este.

8.3.1.8. *Fosfatos, Hierro y Nitritos.*

Para el procedimiento de fosfatos, hierro y nitritos, el medidor que consistía en un fotómetro fue primero llevado a cero por medio de la muestra sin reaccionar. Para esto, se rellenó la cubeta con 10 mL de muestra no reactiva hasta la marca y se reemplazó la tapa. Luego, se colocó la

cubeta en el sostenedor de la cubeta, asegurándose que la muesca de la tapa estuviera posicionada firmemente dentro de la ranura. El medidor fue preparado para la medición, agregando el contenido de un paquete del reactivo determinado para cada característica medida. Se volvió a colocar la tapa y se agitó suavemente hasta una disolución completa. Tras esto, se esperó un tiempo de 3 minutos para iniciar la medición. Al final, el instrumento desplegó en forma directa la concentración de cada característica en unidades de mg/L en la pantalla LCD.

8.3.1.9. Alcalinidad.

La alcalinidad se determina por titulación con una solución estándar de un ácido fuerte a los puntos sucesivos de equivalencia del bicarbonato y el ácido carbónico. Para iniciar, se midieron 25 mL de muestra en un matraz aforado. Para esto, se añadió la muestra hasta que faltara aproximadamente un centímetro para el aforo (marca de enrase) y se completó con un gotero. Después, se vertieron los 25 mL en el Erlenmeyer de 250 mL y se agregaron 3 gotas del indicador, es decir, Verde de Bromocresol. Luego se tituló, agregando en una bureta solución de Ácido Clorhídrico en concentración de 0.02 N, se agitó y añadió gota a gota hasta el viraje cambió de azul a amarillo, y se determinó el volumen de ácido gastado en la bureta. Finalmente, fue calculada la alcalinidad por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación 3. Alcalinidad en muestra.

$$\text{Alcalinidad} \left(\frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}} \right) = \frac{A \times N \times 50000}{\text{mL de muestra}}$$

Dónde: A = mL de titulante gastados y N = Normalidad del titulante.

8.3.1.10. Dureza Total.

Para el procedimiento de Dureza Total se tomaron 25 mL de la muestra y se agregaron 1 mL de solución buffer hasta obtener un pH 10. Luego se procedió a hacer la titulación con EDTA concentración de 0.01 M hasta obtener un viraje de color de la solución de rosado a azul. Tras esto se anota el volumen gastado y se determina la dureza mediante la fórmula:

Ecuación 4. Dureza Total en muestra.

$$Dureza \left(\frac{mg \text{ CaCO}_3}{L} \right) = \frac{A \times B \times 100000}{ml \text{ de la muestra}}$$

Dónde: A = mL de EDTA gastados y B = mg de CaCO₃ equivalentes a 1000 mL de EDTA.

8.3.1.11. Conductividad.

El método consiste en la medida directa de la conductividad utilizando una celda de conductividad previamente estandarizada con una solución de KCl. La conductividad se mide con un conductímetro, a un volumen de muestra hasta que la lectura se estabilice. Primero, se enjuagó bien la celda con una o más porciones de la muestra. Tras esto, se ajustó la temperatura de una porción final a aproximadamente 25 ° C. Por último, se midió la resistencia o conductividad de la muestra, tomando nota de la temperatura a ± 0.1 ° C.

8.3.1.12. Salinidad y Solidos Disueltos Totales.

Debido a su alta sensibilidad y facilidad de medición, el método de conductividad se usa comúnmente para determinar la salinidad y los sólidos disueltos totales.

8.3.2 Caracterización Microbiológica.

8.3.2.1 Coliformes Totales y *Escherichia Coli*.

La metodología recomendada por la normativa colombiana para la determinación de Coliformes totales en agua potable corresponde a la filtración por membrana. La técnica de filtración por membrana es un método por el cual se consigue retener microorganismos cuyo tamaño es mayor que el tamaño del poro (0.45 μm), en la superficie de una membrana; para lograr esto se utiliza una bomba eléctrica que ejerce una presión sobre la muestra de agua haciendo que se filtre de forma correcta. Las bacterias y todos los microorganismos de tamaño menor que el específico del poro pasan la membrana o quedan retenidos estas, las bacterias quedan en la superficie de la membrana ya que no lograron pasar por el filtro, luego este es llevado a un medio de cultivo llamado Brilliance TM E. coli / Boliform Selective Medium, quien a través de intercambio metabólico y una incubación, se puede evidenciar el crecimiento de microorganismos y unidades formadoras de colonia. (IDEAM, 2007). Las muestras fueron trasladadas a una incubadora por un periodo de 24 horas, a una temperatura de 37°C. El resultado se informa en UFC/100L. Los Coliformes Totales incluyen todas las colonias tanto las de color rojo salmón más las de color violeta o azul. Para *Escherichia Coli*, se cuentan solamente las colonias de color violeta o azul.

8.4.Aplicación del IRCA.

Para el cálculo del IRCA se utilizan la caracterización física, química y microbiológica de cada parámetro que se encuentran rígidamente por la normativa, en esta se encuentran las referencias de los valores máximos establecidos por la Resolución 2115 de 2007 para los principales parámetros de calidad del agua para el consumo que utiliza el IRCA para sus cálculos, en la tabla 4 se pueden observar estos parámetros.

Tabla 4.*Valores máximos aceptables para todas características.*

Característica	Valor máximo aceptable	Puntaje de Riesgo
Color Aparente	15 UPC	6
Turbiedad	2 UNT	15
pH	6,5 – 9	1.5
Cloro Residual Libre	0,3 - 2,0 mg/L	15
Alcalinidad Total	200 mg/L	1
Calcio	60 mg/L	1
Fosfatos	0,5 mg/L	1
Manganeso	0,1 mg/L	1
Molibdeno	0,07 mg/L	1
Magnesio	36 mg/L	1
Zinc	3 mg/L	1
Dureza Total	300 mg/L	1
Sulfatos	250 mg/L	1
Hierro Total	0,3 mg/L	1.5
Cloruros	250 mg/L	1
Nitratos	10 mg/L	1
Nitritos	0,1 mg/L	3
Aluminio (Al ³⁺)	0,3 mg/L	3
Fluoruros	1.0 mg/L	1
COT	5 mg/L	3

Coliformes Totales	0 UFC/100 cm ³	15
<i>Escherichia Coli</i>	0 UFC/100 cm ³	25

Fuente: Resolución 2115 de 2007.

En la Tabla 4 se observan todos los valores máximos aceptables de las características requeridas para calcular el índice de riesgo de calidad de agua para el consumo humano, en conjunto con su respectivo puntaje de riesgo en caso de no cumplirse con el valor estipulado.

8.4.1. Limitaciones del estudio.

Primeramente, se debe resaltar que el valor de IRCA se realizó con base en cada municipio del Departamento, es decir, al final se obtuvo un valor IRCA por cada uno, dado que primeramente se tenían dos muestras por cada uno de ellos para el año 2016 y 3 para el 2018; posteriormente se realizaron promedios y obtuvo uno por cada localidad.

En el presente estudio se realizó un IRCA parcial, esto es debido a que no se contaba con los recursos necesarios y falta de equipos en el laboratorio (CITA), no permitiendo de esta manera realizar prueba que establece la norma para el IRCA.

Si embargo, se debe resaltar que para el cálculo de éste se utilizaron los parámetros de mayor relevancias y puntajes de riesgo más altos que establece la normativa. A continuación, en la tabla 5 se puede observar los más utilizados para el año 2016, los cuales fueron trece (13) y para el 2018 fueron doce (12), esto se puede observar en la tabla 6, de veintidós (22) que establece la normativa.

Tabla 5.

Valores máximos permisibles para características medida en 2016.

PARAMETRO	VALOR PERMITIDO	PUNTAJE DE RIESGO
Color aparente	15	6

Turbiedad	2	15
pH	6,5-9	1,5
Cloro residual	0,3-2,0	15
Alcalinidad total	200	1
Fosfatos	0,5	1
Dureza total	300	1
Sulfatos	250	1
Cloruros	250	1
Nitratos	10	1
Nitritos	0,1	3
Coliformes totales	0	15
<i>Escherichia Coli</i>	0	25
TOTAL		86,5

Valores máximos y puntaje de riesgo asociado al índice de calidad de agua utilizados en el año 2016 Fuente:

Resolución 2115 de 2007.

En la tabla 5 se pueden observar los parámetros medidos para el año 2016, a su vez los valores máximos y el puntaje de riesgo en caso de no cumplirse con los puntos estipulados por la resolución 115 de 2007. En este caso se puede observar que la sumatoria de los puntajes de riesgo es 86.5, por esto al aplicar la fórmula no se dividió sobre 100, si no sobre el total de la sumatoria antes mencionada.

Tabla 6.

Valores máximos permisibles para características medida en 2018.

PARAMETRO	VALOR PERMITIDO	PUNTAJE DE RIESGO
-----------	-----------------	-------------------

Color aparente	15	6
Turbiedad	2	15
pH	6,5-9	1,5
Cloro residual	0,3-2,0	15
Alcalinidad total	200	1
Fosfatos	0,5	1
Dureza total	300	1
Cloruros	250	1
Hierro	0,3	1,5
Nitritos	0,1	3
Coliformes totales	0	15
<i>Escherichia Coli</i>	0	25
TOTAL		86

Valores máximos y puntaje de riesgo asociado al índice de calidad de agua utilizados en el año 2018 Fuente: Resolución 2115 de 2007.

En la tabla 6 se puede observar los parámetros medidos para el año 2018, a su vez los valores máximos y el puntaje de riesgo en caso de no cumplirse con el valor estipulado por la resolución 2115 de 2007. En este caso se puede observar que la sumatoria de los valores de riesgo es 86, por esto al aplicar la fórmula no se realizaría sobre 100 si no sobre el valor de la sumatoria antes mencionado.

Para calcular el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua se implementó la siguiente fórmula:

Ecuación 5. IRCA por muestra.

$$IRCA(\%) = \frac{\sum \text{Puntaje de riesgo asignado a características no aceptables}}{\sum \text{Puntaje de riesgo asignado a características analizadas}} \times 100$$

De acuerdo al resultado obtenido, se procedió con la respectiva clasificación del nivel de riesgo. En este caso, cuando el puntaje resultante se encuentra entre 0 y 5% el agua distribuida se considera apta para consumo humano y se califica en el nivel Sin Riesgo. Cuando el IRCA se encuentra entre 5.1 y 14% ya no se considera apta para consumo humano, pero califica con nivel de riesgo Bajo; entre 14.1 y 35% califica con nivel de riesgo Medio y no apta para consumo humano; mientras que cuando el IRCA clasifica entre 35.1 y 80% el nivel de riesgo es Alto. Por último, con un puntaje entre 80.1 y 100% el agua distribuida se considera Inviable Sanitariamente (Ministerio de Salud y Protección Social, 2014).

La Resolución 2115 de 2007, establece estos rangos para la clasificación del nivel de riesgo por muestra y mensual, así mismo las notificaciones y acciones correspondientes de los responsables directos, Autoridad Sanitaria y Persona Prestadora del servicio, los cuales se pueden observar dentro de la Tabla 7.

Tabla 7.

Clasificación de Niveles de Riesgo.

Clasificación IRCA (%)	Nivel de Riesgo	IRCA por muestra	IRCA mensual
80.1 -100	Inviable Sanitariamente	Informar a la persona prestadora, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional.

35.1 - 80	Alto	Informar a la persona prestadora, COVE, alcalde, Gobernador y a la SSPD.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.
14.1 – 35	Medio	Informar a la persona prestadora, COVE, alcalde y Gobernador.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora.
5.1 - 14	Bajo	Informar a la persona prestadora y al COVE.	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.
0 - 5	Sin Riesgo	Continuar el control y la vigilancia.	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia.

Clasificación de porcentajes de nivel de riesgo para índice de calidad de agua Fuente: Resolución 2115 de 2007.

8.5. Procesamiento y análisis de los datos.

Para el procesamiento de los datos y cálculos de IRCA se utilizó el programa **MICROSOFT OFFICE EXCEL 2016**, el cual no es más que una hoja de cálculos y la cual facilita de gran forma todo el trabajo, en este se realizaron promedios para reducir los datos y hacer el análisis de forma equivalente por la diferencia en número de muestras entre los 2 (dos) años de estudios obteniendo así un total de 23 puntajes para cada año equivalentes a 1 por municipio.

Por otro lado, se realizó un análisis estadístico descriptivo con la ayuda del programa **MICROSOFT OFFICE EXCEL 2016**, este consta, mínimos, máximos, mediana y desviación estándar; Para cada resultado del IRCA y su vez el año. También se incluyeron tablas de frecuencia, gráficos de barra y gráficos de circular para los resultados de valores del IRCA para

cada año. La utilización de porcentajes también permitió análisis más detallados para los parámetros de mayor afectación en cada uno de los años, para esto se utilizó este mismo programa y luego se realizó una agrupación por empresa encargada del servicio de distribución de agua los cuales fueron la Triple A y empresas públicas municipales y se obtuvieron máximos, mínimos y promedio de estas agrupaciones.

Por último, se utilizó el programa **ArcGIS 10.5** para realizar el análisis comparativo espaciotemporal del valor resultante del IRCA asociado a cada municipio del departamento para cada año, esta representación se podrá observar de acuerdo a la clasificación del puntaje de riesgo asociándolo con los colores de la tabla 8.

Tabla 8.

Clasificación por colores utilizados para niveles de riesgo.

Clasificación IRCA (%)	Nivel de Riesgo
80.1 -100	Inviabile Sanitariamente
35.1 - 80	Alto
14.1 – 35	Medio
5.1 - 14	Bajo
0 - 5	Sin Riesgo

Clasificación de colores por porcentajes de nivel de riesgo. Fuente: Propia.

9. Resultados y discusiones.

9.1. Análisis estadístico descriptivo del IRCA.

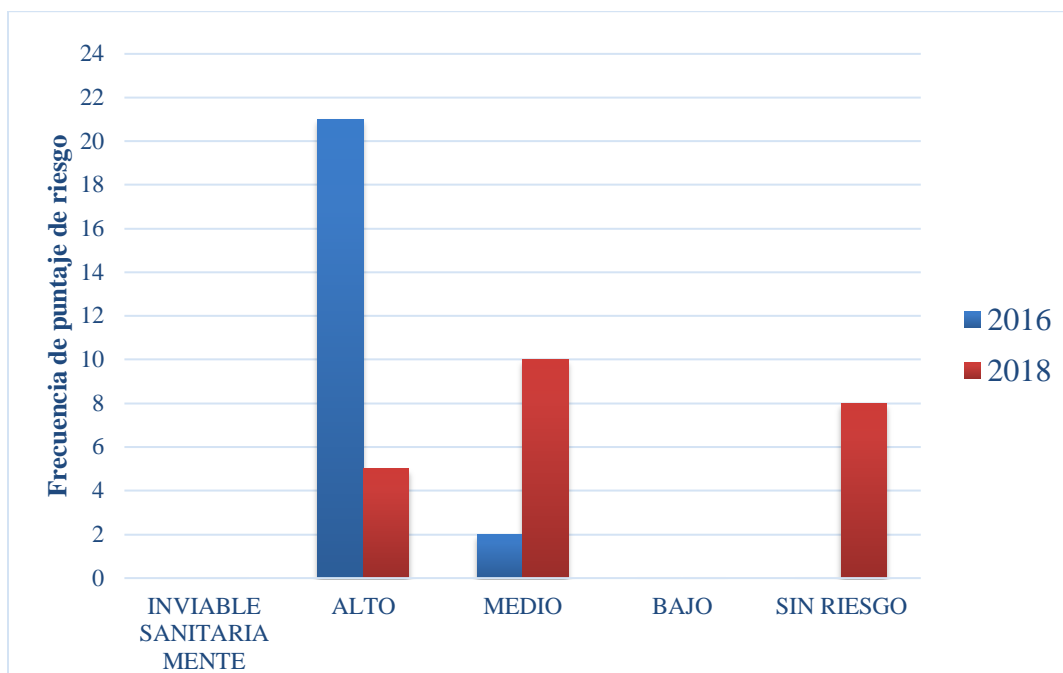


Figura 4. Resultados de municipios distribuidos en clasificación del IRCA los años 2016 y 2018.

Fuente: propia.

Al analizar la gráfica 2 encuentran los resultados del IRCA para los diferentes años de estudios, como primera instancia se puede apreciar una mejora en el valor de IRCA para el año 2018 en comparación con los resultados del 2016, se tiene que para el año 2016 predomina el nivel de riesgo alto, a diferencia del 2018 el cual predomina es el nivel de riesgo Medio, seguido del nivel Sin riesgo. También se observa una mejora en el nivel sin riesgo para el año 2018 el cual presenta 8 municipios frente a 0 (cero) en el año 2016, así mismo se aprecia una disminución drástica en el nivel de riesgo alto en el año 2016 frente al 2018, ver el gráfico 3 y 4.

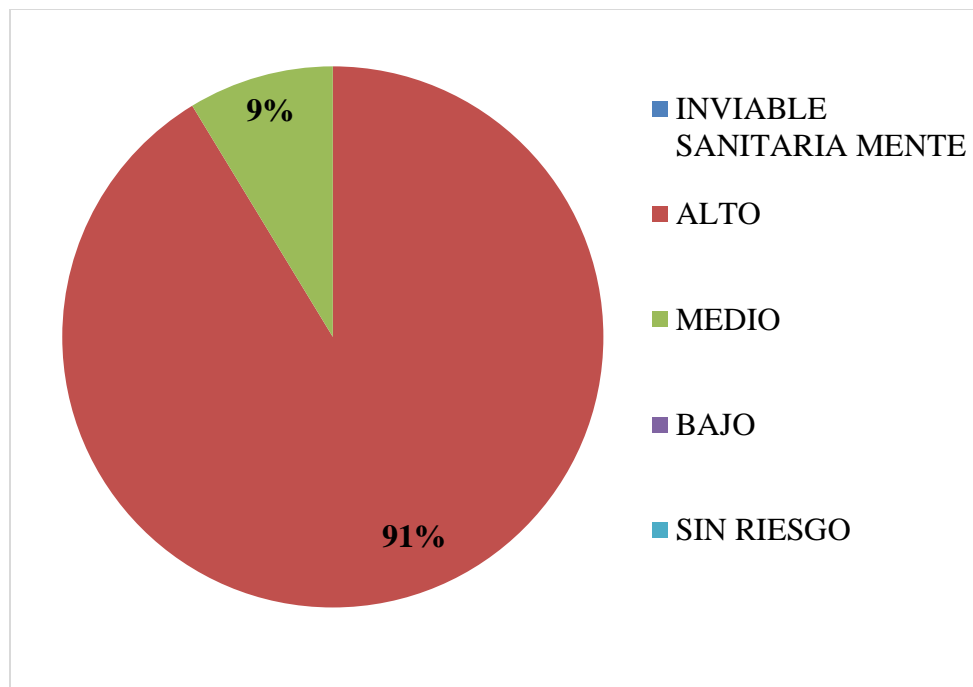


Figura 5. Representación porcentual de Resultados de municipios distribuidos en clasificación del IRCA los años 2016. Fuente: Propia.

En la gráfica 3 se puede apreciar la distribución porcentual de los resultados obtenidos para el IRCA en el año 2016, en el cual los resultados son alarmantes, esto es debido a que predominar el nivel de riesgo alto con un 91%, seguido del nivel medio con un 9%, partiendo que el agua solo es apta para el consumo cuando se encuentra en nivel sin riesgo según la resolución 2115 de 2007, para este año el 100% del departamento se encontró consumiendo agua no apta para el consumo humano, es decir que no se obtuvo agua aptas para consumir en ningún municipio para el año 2016. A diferencia del año 2018.

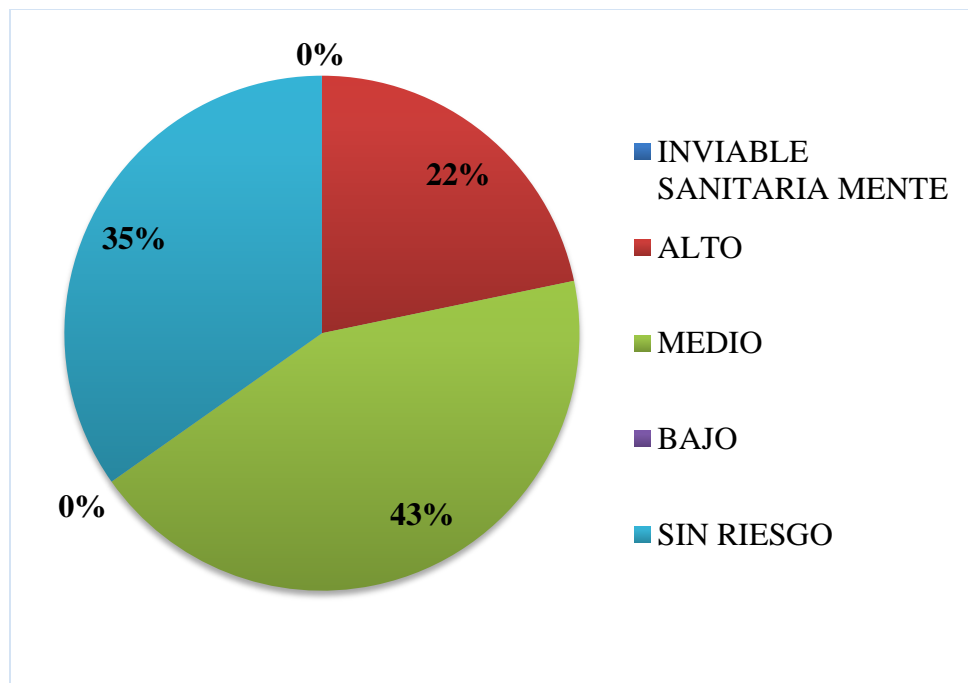


Figura 6. Representación porcentual de Resultados de municipios distribuidos en clasificación del IRCA los años 2018. Fuente: Propia.

En la gráfica 4 se puede observar la distribución porcentual de los resultados obtenidos para el IRCA en el año 2018, en los cuales se puede apreciar una mejora de forma considerable frente a los resultados arrojados para el año 2016. Tenemos que en 2018 predomina el nivel Medio con un 43%, seguido de nivel Sin riesgo con 35% los cuales en el 2016 no se presentaron municipios sin riesgo, también se observa una reducción en el nivel de riesgo alto con 22% frente a un 91% en el 2016. Según la clasificación de la resolución 2115 de 2007 cuando el IRCA se encuentre en nivel de riesgo bajo o superior a este el agua es clasificada como no apta para el consumo, partiendo de esto se puede afirmar que, en año 2018 solo el 35% del departamento cuenta aguas aptas para el consumo humano y el restante se encuentran expuestas a aguas no apta para el consumo.

Se encontró una mejora en el nivel de riesgo en el año 2018 frente al 2016, ya en el año más reciente se pueden encontrar aguas aptas para el consumo humano, a diferencia el año 2016 en el cual no se puede encontrar ninguna.

Siguiendo con el análisis a continúa se presentar los valores de máximo, mínimos, promedios y desviación estándar en los cuales se pueden apreciar en la tabla 9, en esta también se aprecia la mejora en el IRCA en los diferentes años.

Tabla 9.

Resultados de análisis estadístico del IRCA para cada año.

	Máximo	Mínimos	Promedio	Desviación estándar
2016	73,99	17,34	53,63	15,14
2018	66,28	1,16	20,15	18,95

Datos obtenidos de promedios. Fuente: propia.

En la tabla 9 se puede observar los valores de máximos, mínimos, promedios y desviación estándar los cuales hacen parte de los análisis descriptivos. En esta se puede apreciar la mejora en el IRCA para el año 2018, tenemos que para este año el valor máximo hallado es de 66.28 siendo este mucho menor al encontrado en el año 2016 el cual fue de 73.99; así mismo los valores de mínimos para el año 2016 el cual fue de 17.34 mucho mayor respecto al año 2018 el cual fue de 1.16; esta mejora también se puede observar en el promedio que para el año 2016 fue de 53.63 valor más alto que para el año 2018, el cual arroja un valor de 20.15, también se encontró que en año 2018 los datos fueron más dispersos que en el 2016 en cuanto a desviación estándar, pero esto es asociado a que los datos se mantuvieron de forma más conjunta respecto a la mediana, a diferencia del 2018 lo cual la mediana tiende a una variación significativa a los valores más bajos. Partiendo de todo lo anterior mencionado se observa que en el año 2018 el valor del IRCA se encuentra en mejora frente al 2016.

9.2. Análisis estadístico descriptivo de parámetros que no cumplimiento de la norma y problemas asociado a la salud.

9.2.1 Análisis estadísticos.

Con base a este análisis se puede verificar cuales fueron los valores de mayor preocupación en todo el departamento, esto se puede observar en la tabla 10 y 11.

Tabla 10.

Resultados de los parámetros con no cumplimiento de la norma para el año 2016.

Parámetro	Total de muestras resultante	Número de municipios que no cumplen por parámetro.	Porcentaje de parámetros que no cumple con la norma.
Color aparente	23	3	13%
Turbiedad	23	4	17%
pH	23	6	26%
Cloro residual	23	10	43%
Alcalinidad total	23	1	4%
Fosfatos	23	11	48%
Dureza total	23	3	13%
Sulfatos	23	0	0%
Cloruros	23	0	0%
Nitratos	23	0	0%
Nitritos	23	0	0%
Coliformes totales	23	21	91%
<i>Escherichia Coli</i>	23	20	87%

Fuente: Propia.

En la tabla 10 se puede observar el total de muestra resultante después de realizar el promedio (una muestra por cada municipio), así mismo se visualiza la sumatoria de parámetros que no cumplen con la normativa y el porcentaje de este mismo para el año 2016. Para este año se apreciar que los parámetros de mayor preocupación fueron los microbiológicos, en cuanto a Coliformes totales, tenemos que el 91% del Departamento no cumplen con la normativa, así mismo un 87% de éste se encuentra contaminado con *Escherichia Coli*, y como era de esperarse, el cloro residual también tiene gran incidencia en este problema, dado que el 43% del Departamento no cumplen con la normativa.

En pocas palabras tenemos el problema de mala cloración en varias plantas de tratamientos que produce el crecimiento de bacterias microbiológicas. El 48% del Atlántico no cumple con la normativa en cuanto a temas de fosfatos y esta sustancia con cantidades elevada favorece el crecimiento de microorganismos (Bobadilla & Rincón, 2008), es decir que las bacterias microbiológicas tienen todo a su favor, por ende se observan porcentajes tan altos de coliformes totales y *Escherichia Coli*.

Los únicos municipios que no presentan coliformes totales y *Escherichia Coli* son Puerto Colombia, Galapa y la ciudad de Barranquilla, el resto se encuentran con presencia de ellos, sin embargo, este panorama mejora para el 2018 como se puede observar en la tabla 11.

Tabla 11.

Resultados de los parámetros con no cumplimiento de la norma para el año 2018.

Parámetro	Total de muestras resultante	Número de municipios que no cumplen por parámetro.	porcentaje de parámetros que no cumple con la norma.
Color aparente	23	1	4%

Turbiedad	23	2	9%
pH	23	13	57%
Cloro residual	23	10	43%
Alcalinidad total	23	1	4%
Fosfatos	23	12	52%
Dureza total	23	1	4%
Cloruros	23	1	4%
Hierro	23	0	0%
Nitritos	23	1	4%
Coliformes totales	23	5	22%
<i>Escherichia Coli</i>	23	4	17%

Fuente: propia

En la tabla 11 se puede observar el total de muestra resultante después de realizar el promedio, así mismo se visualiza la sumatoria de parámetros que no cumplen con la normativa y el porcentaje que así mismo no cumplen con esta para el 2018, se tiene que predominan pH con un 57%, es decir que los 13 municipios no están cumpliendo con la normativa en cuanto a pH, algunos de estos municipios son Polo nuevo, Repelón, Candelaria y otros. Luego le sigue fosfatos con 52% y cloro residual con 43% los cuales se le atribuyen en parte a que los muestreos se realizaron en temporada de lluvia afectando de forma significativa el tratamiento del agua el cual ya se encontró estipulado y a su vez la calidad de agua en todo departamento. Aunque para el 2016 también gran número de municipios presentan problemas en temas de fosfato y cloro residual, y de igual forma los muestreos se realizaron en temporadas de lluvia, la diferencia con el año 2018 es drástica, en cuanto los pueblos con los parámetros que no cumplen la normativa, principalmente los parámetros microbiológicos los cuales presentan una mejora, pero en municipios como Luruaco, sean, Piojó y polo nuevo, aun se presentan problemas asociados a parámetros microbiológicos.

Esta mejora en el IRCA se le atribuye a: como bien sabemos la empresa Triple A cuenta con la mayor parte de cobertura para distribución de agua en todo el departamento del Atlántico, para el transcurso de 2016 y 2018 esta llevo a cabo unos proyectos como lo son: La creación de un tanque regional, ampliación de diámetro de tuberías y lavado de tanques, la cual beneficio a los habitantes de los municipios de Juan de Acosta, Piojó, Tubará y Usucuri, permitiéndoles una mejora en la calidad de agua y a su vez su calidad de vida (Triple A S.A E.S.P, 2017).

También se le atribuye al hecho que la empresa triple A no trabaja durante todo el departamento, este solo tiene extensiones en 15 municipios del departamento esto son: la ciudad de Barranquilla, y los municipios de Puerto Colombia, Galapa, Sabanagrande, Usiacurí, Sabanalarga, Santo tomas, Ponedera, Soledad, Baranoa, Tubará, Piojó, Palmar de Varela, Polo nuevo y Juan de acosta (Triple A S.A E.S.P, 2018), los otros 8 municipios como lo son Malambo, Manatí, Santa Lucía, Repelón, Campo de la cruz, Luruaco, Candelaria y Suan, (Ver anexos 4, figura 9).

La distribución de agua potable se encuentra encargado por empresas públicas municipales. Esto tiene gran influencia debido que la empresa Triple A realiza un tratamiento más eficiente que las empresas públicas municipales en materia de tratamiento de agua potable y distribución de esta mismo, esto se puede apreciar en el índice de riesgo para la calidad de agua potable agrupado por empresa, estos resultados se encuentran en la tabla 12 y 13.

9.2.2 Problemas de salud asociados a los parámetros que no cumplen con la norma.

Este análisis se realizó con bases bibliográficas y solo se utilizaron los parámetros de mayor preocupación para todos los municipios, empezamos hablando por el pH, el presente

estudio para el año del 2016 solo 6 los municipios no cumplen con la norma respecto al pH y estos son: Baranoa, Santa Lucía, Santo tomas, Sabanagrande y Usiacurí. Pero para el año 2018 este panorama aumente a 13 municipios, dentro de los cuales se encuentran: Barranquilla, Suana, Polo nuevo, Palmar de Varela, Tubará, Repelón, Santo tomas, Ponedera, Soledad, Baranoa, Malambo, Usiacurí y Puerto Colombia. Es muy importante conocer el pH del agua, esto es debido a que tiene gran incidencia en varios parámetros de suma importancia para el agua potable como lo son el cloro, hierro y otros compuestos, se ha demostrado que consumir agua alcalina puede causar osteoporosis y si el agua demasiado ácida, podrías estar dañando al organismo (Zafra, Joaquín, Jauregui, & Granada, 2008), por ende los municipios anteriormente mencionados se encuentran expuestos a sufrir estas enfermedades asociadas a consumir agua con pH no regulado por la norma.

En cuanto a fosfatos, para el año 2016 es preocupante la situación, esto es debido a que 11 de 23 municipios no cumplen con la norma, estos son: Puerto Colombia, Malambo, Sabanalarga, Manatí, Ponedera, Palmar de Varela, Repelón, Campo de la cruz, Luruaco, Suana y Barranquilla. Para el 2018 solo se presentó un aumento de un municipio, pero estos varían respecto año 2016, es decir que se observan municipios diferentes frente al año 2016, estos son: Puerto Colombia, Manatí, Santo Tomas, Ponedera, Soledad, Santa Lucía, Candelaria, Piojó, Polo Nuevo, Juan de acosta, Luruaco y Barranquilla. El consumo de fosfatos excesivo puede causar problemas de salud, entre los que sobresalen el daño renal, la osteoporosis, el aumento de casos de cáncer y de enfermedades neurodegenerativas (Lavie, Morábito, Salatino, Bermejillo, & Filippini, 2010). Se debe resaltar que los habitantes de los municipios mencionados en el año más reciente aún se encuentran expuestos a estos problemas de salud asociado al consumo de agua con altas concentraciones de fosfatos.

Tenemos que el cloro puede causar problemas de salud asociados a daño en las funciones reproductoras, problemas en el desarrollo fetal dentro del útero, así mismo puede desarrollar cáncer Como lo son: en la vejiga urinaria, cáncer de colon, cáncer de recto, esófago, el cáncer de mama, el cáncer de riñón, hígado y pulmón, aunque los resultados estadísticos no son significativos se ha comprobado que todos estos pueden ser causante de exposición al consumo de con contenidos de subproductos del cloro (Olmedo, 2008; Zafra et al., 2008), Tenemos que para ambos años de estudio los habitantes de 10 municipios del departamento se encontraron y aún están expuestos a sufrir de estas enfermedades, esto es debido que los resultados arrojaron que las muestras no cumplen con la normativa de cloro residual, para el 2018 los municipios de preocupación son: Puerto Colombia, Galapa, Malambo, Sabanagrande, Sabanalarga, Ponedera, Soledad, Candelaria, Campo de la cruz, y la ciudad de Barranquilla.

En cuanto a coliformes totales y *Escherichia Coli*, para el 2016 la situación fue preocupante, esto es debido a que 21 municipios de 23 no cumplen con la norma en cuanto a coliformes totales y 20 de 23 no cumple con *Escherichia Coli*, es decir que aproximadamente entre el 91% y 87% de la población del departamento se encontraron expuesto a enfermedades que involucran tejidos y órganos humanos, entre estos tenemos los dolores abdominales, diarrea, fiebre con escalofríos, nausea, mialgia (CYTED, 2001)(“OMS | Enfermedades transmitidas por el agua,” 2017). Los únicos municipios que no se encontraron expuestos a estas enfermedades son: Galapa y la ciudad de Barranquilla. Para el 2018 esta situación mejora, solo se encuentran 5 municipios que no cumple con la norma en cuanto a coliformes totales y 4 con respecto *Escherichia Coli*, estos son: Luruaco, Suan, Polo nuevo, Piojó y Santa Lucía. Es decir que aproximadamente entre 22% y 17% de la población de encuentran expuestos a sufrir estas enfermedades asociado a parámetros microbiológicos.

9.3. Análisis estadístico descriptivo por empresa de tratamiento de agua potable.

Mediante este análisis se logró observar cual empresa realiza procesos más eficientes en sus procesos de tratamiento de agua potable, para esto se agrupó la empresa Triple A frente al restante las cuales son empresas de servicio público municipal, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 12.

Resultados comparativos de IRCA por empresa de distribución de agua potable para el año 2016.

Empresa	Máximo	Mínimos	Promedio
Triple A	65,31	17,34	51,0211946
Empresas públicas municipales	73,98	46,24	58,5260116

Datos obtenidos de agrupación de municipios por empresa de distribución de agua potable. **Fuente:** Propia

En la tabla 12 se puede observar un análisis descriptivo, el cual contiene máximos, mínimos y promedios de los resultados del IRCA asociado al año 2016, en este se puede ver que el valor máximo en el IRCA para los municipios en los cuales trabaja la empresa Triple A es de 65.33, puntaje menor a diferencia de las empresas públicas municipales, las cuales cuentan con 73.98.

En este panorama también se encontró que, en los valores mínimos y promedios, la empresa Triple A cuenta con puntajes de riesgo menores que las empresas públicas municipales, lo que no permite identificar que estas hacen un tratamiento menos eficiente que en la empresa Triple A para el año 2016.

Para el año 2018 se encontró con la misma situación, dejando al descubierto que Triple A hace un mejor tratamiento para las aguas potable; lo anterior se observa en la tabla 13.

Tabla 13.

Resultados comparativos de IRCA por empresa de distribución de agua potable para el año 2018.

Empresa	Máximo	Mínimos	Promedio
Triple A	54,65	1,74	16,74
Empresas públicas municipales	66,27	1,162	26,52

Datos obtenidos de agrupación de municipios por empresa de distribución de agua potable. Fuente: propia

En tabla 13 se puede observar un análisis descriptivo el cual contiene máximo, mínimo y promedios de los resultados del IRCA asociado al año 2018, se puede observar que el valor máximo mejoro frente a 2016 para las dos empresas, pero aun así la empresa Tripla A se caracteriza por realizar un tratamiento más eficiente para el agua de consumo humano, en el valor del mínimo se aprecia que las empresas públicas municipales es mejor, pero no es relevante puesto que para promedio el valor de 16.7 es menor y corresponde para la empresa Triple A, entonces se puede decir que la empresa con un proceso más eficiente es la Triple A para ambos años, una de las causas es que en las empresas de Empresas públicas municipales no cuenta con el personal capacitado como se observó en muchas de las visitas realizadas.

9.4.Resultados de IRCA departamental con programa ARCGIS.

El índice de riesgo de la calidad de agua para el consumo humano (IRCA) calculado para cada municipio del departamento del Atlántico para el año 2016, en su gran mayoría se clasifico

con un nivel de riesgo alto, exacto Barranquilla y Galapa los cuales fueron nivel medio como se aprecia en la Figura 3.

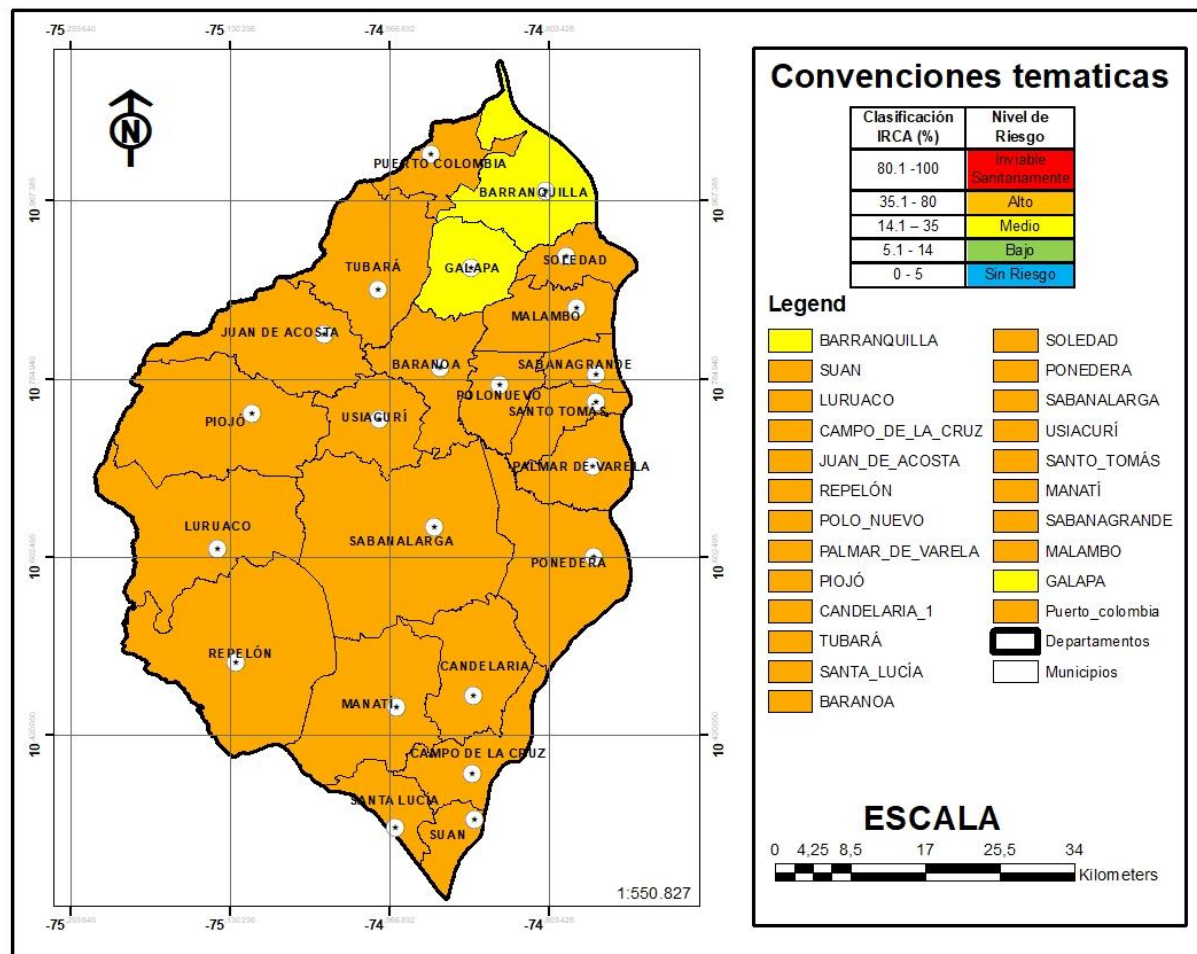


Figura 7. Mapa de Riesgo del Departamento del Atlántico para el 2016.

Fuente: Propia.

De los 23 municipios del departamento del Atlántico, se tiene que aproximadamente el 21 de estos se clasifican en nivel de riesgo alto y el 2 son riesgo medio, es decir que todo el departamento se encontró consumiendo aguas no aptas para el consumo humano en el año 2016 según la resolución 2115 de 2007 artículo 15, el cual señala que el agua es apta para el consumo solo cuando se encuentra en el nivel sin riesgo, de lo contrario el agua no se debería ser consumida por el riesgo que estas contienen. Este mismo artículo también nos indica a las

personas que se debe acudir que en nuestro caso para el 2016 se debe informar a la persona prestadora, COVE, alcalde, Gobernador y a la SSPD de manera inmediata.

Por otro lado, para el 2018 se observa una mejora el IRCA, ya que se pueden observar municipios con nivel sin riesgo como lo son Repelón, Manatí, Tubará, Juan De Acosta entre otros, pero también se observan niveles de riesgo alto y medio para algunos municipios, como se observa en la Figura 4.

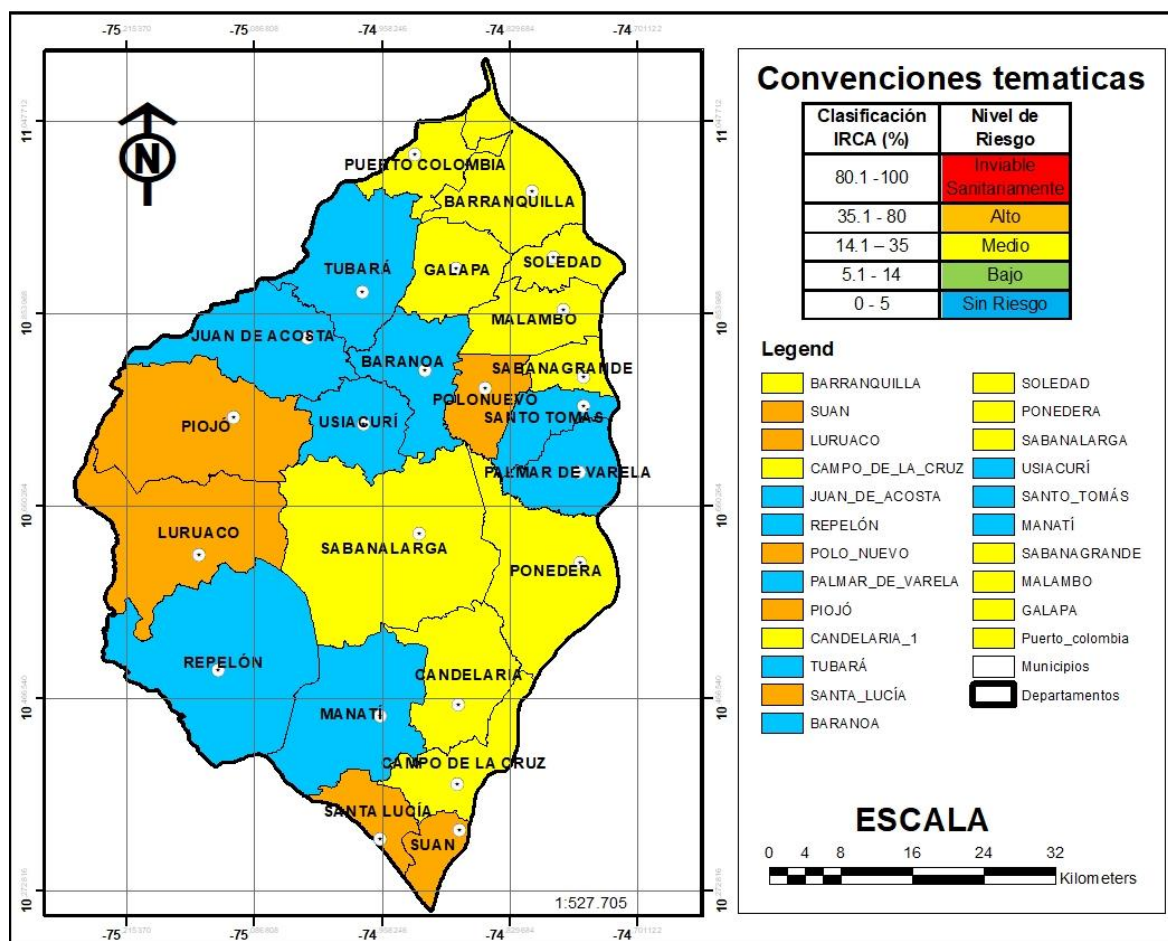


Figura 8. Mapa de Riesgo del Departamento del Atlántico para el 2018.

Fuente: Propia.

Para el año 2018 se aprecia una mejora considerable en el IRCA frente al año 2016, de los 23 municipios, 8 de estos se encuentran en nivel sin riesgo, 10 en nivel de riesgo medio

dentro de los cuales incluye a Barranquilla, Galapa, Puerto Colombia y otros más, el restantes se clasifican en nivel de riesgo alto los cuales son 5 municipios.

Mediante el mapa de georreferenciación obtenido para el 2018 en cual se puede observar de la Figura 4, 7 y 8, o directo del programa ArcGIS, se puede observar que los municipios en los que la empresa Triple A es la encargada de la distribución de agua el cloro residual es quien causa los problemas y quien aumente el valor de IRCA, esto es debido a que la empresa Triple A hace cloración en la ciudad de Barranquilla justo antes de realizar la distribución del agua hacia todo el departamento, por ende la empresa opta por agregar dosis elevadas de cloro para la desinfección, así esta agua llegaran a los municipios aledaños con la concentración optima, esto se puede observar en pueblos como Tubará, Juan De Acosta, Usiacurí, Baranoa, Santo Tomas y Palmar de Valera, pero en la ciudad de Barranquilla, Galapa, Puerto Colombia y Sabana Grande se aprecia dosis elevadas de cloro residual, por esta razón (Ver anexos 3).

10. Conclusiones.

En este estudio se logro evaluar el Índice de Riesgo de Calidad del Agua para el consumo humano en el departamento del Atlántico, Colombia. Esto se realizó mediante la utilización del índice de riesgo de la calidad de agua para el consumo humano (IRCA) establecido por la resolución 2115 de 2007 para los años 2016 y 2018. El índice para el primer año fue de 53,63 clasificándola con un nivel de riesgo alto y a su vez como agua no apta para el consumo humano, para el 2018 este arrojó un puntaje de 20,09 catalogándola con un nivel de riesgo medio y agua que no se recomienda para el consumo, dado a que podría causar problemas de salud a quien la ingiera.

A pesar de que en el 2018 se aprecian mejoras en puntaje de riesgo frente al más antiguo año de estudio, no quiere decir que esta se encuentra en excelente estado, debido a que según la resolución 2115 de 2007, el agua solamente es apta para el consumo humano cuando clasifica en un nivel sin riesgo y para esto in IRCA debe estar entre 0 y 5. Al comparar los resultados obtenidos para cada año se concluye que para 2016 el 8.69% de los municipios del departamento presentaron un nivel de riesgo medio, estos fueron la ciudad de Barranquilla y el municipio de Galapa, el 91.30% restante del departamento se clasificaron en nivel de riesgo alto y corresponden al restante de municipios. Para el 2018 se presentó una mejora en esta situación, el 34.78 % se encuentran en nivel sin riesgo asociado a los municipios de Manatí, Repelón, Juan de Acosta, Tubará, Santo Tomas, Palmar de Varela, Usiacurí, Baranoa. Un 43.47% es asociado al nivel de riesgo medio los cuales incluye a Barranquilla, Galapa, Puerto Colombia, Soledad, Malambo, Sabanalarga, Ponedera, Sabanagrande, Candelaria y Campo de la Cruz. El 21.75% restante se clásica en nivel de riesgo alto.

Partiendo de los resultados se obtuvo que 100% de las muestras cumplieron con la normativa en cuanto sulfatos, cloruros, nitratos y nitritos para el año 2016, la mayor preocupación fueron los parámetros microbiológicos, en los cuales el 91% de Coliformes totales y el 87% de *Escherichia Coli* no cumplen con la normativa. Para el 2018 el hierro cumplió en su totalidad seguido de cloruros y nitritos en los cuales un 96% de las muestras para ambos casos, se encontraron por debajo de la norma, en este año los parámetros más preocupantes fueron el pH con un 57% que no están cumpliendo, el fosfato con 52% y cloro residual con 43% del 100% de las muestras representativas por cada municipio.

En base al trabajo realizado se aprecia que el problema en el índice de calidad de agua para el consumo humano estuvo en los parámetros microbiológicos para el año 2016 y para el 2018 se le culpo al cloro, debido a la inadecuada dosificación de este por la empresa Tripla A, la cual es la encargada de distribución de agua en la mayoría de los municipios, esto se logró apreciar y concluir mediante el programa ArcGis. En el caso de las empresas públicas municipales, el causante del mal estado de estas es el no contar con el personal capacitado para realizar labores asociada a los procesos de agua potable, eso aplica para los dos años de estudio.

También se pudo concluir que la reducción en el IRCA en el año 2018 se debe a que la empresa Tripla A realizo mejoras y mantenimientos pertinentes en tuberías en el transcurso del 2016 al 2018 y así mismo que esta compañía es más eficiente que las otras compañías en sus procesos de purificación de agua potable, dado que en los municipios donde esta se encuentra laborando, presento niveles más bajos de Índice de Riesgo de Calidad del Agua para el consumo humano, pero aún debe mejorar.

En cuanto a la investigación bibliográfica se encontró que existen enfermedades que podrían estar relacionados al consumo de aguas no aptas para los humanos siendo esto gran materia de

preocupación, estas padecimientos podrían ser la osteoporosis, en los cuales se encontró que los municipios de Baranoa, Santa Lucía, Santo tomas, Sabanagrande y Usiacurí estuvieron expuestos para el año 2016, a diferencia para el 2018 que las localidades en riesgo fueron: Puerto Colombia, Malambo, Sabanalarga, Manatí, Ponedera, Palmar de Varela, Repelón, Campo de la cruz, Luruaco, Suan y Barranquilla. También existen otras enfermedades relacionadas a los altos niveles de fosfatos como lo son: daño renal, el aumento de casos de cáncer y de enfermedades neurodegenerativas dentro de los cuales los habitantes de los municipios de Puerto Colombia, Malambo, Sabanalarga, Manatí, Ponedera, Palmar de Varela, Repelón, Campo de la cruz, Luruaco, Suan y Barranquilla se encontraron en riesgo para el año 2016, en el 2018 las localidades expuestas son Puerto Colombia, Manatí, Santo Tomas, Ponedera, Soledad, Santa Lucía, Candelaria, Piojó, Polo Nuevo, Juan de acosta, Luruaco y Barranquilla. Otras enfermedades que involucran tejidos y órganos humanos, entre estos tenemos: los dolores abdominales, diarrea, fiebre con escalofríos, nausea y mialgia, se encontró que para el 2016 el 91% de la población se estuvieron vulnerables a estas enfermedades, los únicos municipios ajenos a esta situación fueron: Galapa y la ciudad de Barranquilla, para el año 2018 los habitantes de Luruaco, Suan, Polo nuevo, Piojó y Santa Lucía son materia de preocupación ante este panorama, estas enfermedades son causas por el consumo de agua que contienen bacterias microbiologías en este caso coliformes totales y *Escherichia Coli*.

Cabe resaltar que el estudio realizado, es solo con fines académicos y que toda la información suministrada con respecto al Índice de Riesgo de Calidad del Agua para el consumo humano en todo el departamento del Atlántico no debe ser considerada como una afirmación que pueda representar acciones legales ante alguna entidad pública o privada.

11. Recomendaciones.

A partir de la experiencia adquirida durante el tiempo de estudio se realizan las siguientes recomendaciones:

- Determinar la dosificación ideal de cloro que se debe usar para cada municipio en los cuales la Triple A hace la distribución, principalmente se recomienda dosificar el cloro de forma municipal y no de forma general como se está realizando.
- Se recomienda contratar personal capacitado en las empresas encargadas de realizar el tratamiento y distribución de agua potable en los municipios en que la Triple A no ejerce funciones.
- Realizar monitoreo de forma constante, lo cual permita ofrecer una mejor calidad en agua para el consumo humano, buscando llevar un registro que nos permita identificar que tan apta y potable se encuentra.
- Para llevar futuros estudios relacionados con el Índice de Riesgo de Calidad del Agua para el consumo humano en el departamento del Atlántico se recomienda incluir todos los parámetros que establece la resolución 2115 de 2007.

12. Referencias

- Akter, T., Jhohura, F. T., Akter, F., Chowdhury, T. R., Mistry, S. K., Dey, D., ... Rahman, M. (2016). Water Quality Index for measuring drinking water quality in rural Bangladesh: A cross-sectional study. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 1–12.
<https://doi.org/10.1186/s41043-016-0041-5>
- American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Federation (1999). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (20th Ed). APHA, AWWA, WEF, Washington, D.C.
- Aznar-Jiménez, A. (2000) Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. *Revista Interdisciplinar de Gestión Ambiental*, 2(23), 12-19. Recuperado de:
<http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>
- Bobadilla, C., & Rincón, S. (2008). AISLAMIENTO Y PRODUCCION DE BACTERIAS FOSFATO SOLUBILIZADORAS A PARTIR DE COMPOST OBTENIDO DE RESIDUOS DE PLAZA. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10554/8433>
- Briñez A, K. J., Guarnizo G, J. C., & Arias V., S. a. (2012). Calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolima. *Rev. Fac. Nac. Salud Publica*, 30(2), 175–182. Recuperado de:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&%5Cnpid=S0120-386X2012000200006
- Damo, R. & Icka, P. (2013). Evaluation of Water Quality Index for Drinking Water. *Pol. J. Environ. Stud.*, 22(4), 1045–1051. Recuperado de:
<http://www.pjoes.com/pdf/22.4/Pol.J.Environ.Stud.Vol.22.No.4.1045-1051.pdf>

DANE. (2005). Censo general 2005. Retrieved March 10, 2019, from

<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-general-2005-1>.

CDIM. (2019). Centro de documentación e información municipal. Retrieved April 17, 2019,

from <http://cdim.esap.edu.co/Combosdependientes.asp?PnDepartamentos=8&Pnmuni=8685>

CYTED. (2001). Agua Potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de

aguas residuales domésticas. En V. C. María Angélica Mondaca J., *RIESGO DE ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA EN ZONAS* (pág. 265).

Estupiñán, S. M., & Avila, S. L. (2010). Calidad físico-química y microbiológica del agua del municipio de Bojacá, Cundinamarca. *Nova*, 8(14), 206–212. Recuperado de:

<http://www.unicolmayor.edu.co/publicaciones/index.php/nova/article/view/162/324>

Gobernación del Atlántico (2014) Presentación Departamento del Atlántico. Recuperado de:

<http://www.Atlantico.gov.co/index.php/departamento/presentaciondepartamento-45237>

Gobernación del Atlántico (2016) Plan de Desarrollo Departamento del Atlántico Periodo 2016 - 2019. Recuperado de:

http://www.Atlantico.gov.co/images/stories/plan_desarrollo/plan_de_desarrollo_2016_2016_definitivo.pdf

Gobernación de Boyacá (2014) Mapa de Riesgo de la Calidad de Agua para Consumo Humano de la vereda la Trinidad. Recuperado de:

https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/Salud_Publica/Ano_2014/AGUA_CONSUMO_HUMANO/MAPAS%20DE%20RIESGO%20DE%20LA%20CALIDAD%20DE%20AGUA%20PARA%20CONSUMO%20HUMANO%20DE%20LA%20VEREDA%20LA%20TRINIDAD%20Y%20LA%20VEREDA%20TOCOGUA%20MUNICIPIO

%20DE%20DUTAMA.pdf

- Goenaga-Noriega, J.P. & Martinez-Cera, A.C. (2017) Analisis de la Calidad de Agua para Consumo Humano en el corregimiento de la Peña-Atlantico, y determinacion del riesgo potencial para la salud humana.
- Gunnarsdottir, M. J., Gardarsson, S. M., Jonsson, G. S., & Bartram, J. (2016). Chemical quality and regulatory compliance of drinking water in Iceland. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 219(8), 724–733. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2016.09.011>
- IDEAM (2007) Determinación de *Escherichia Coli* y Coliformes Totales en Agua por el Método de Filtración por Membrana en Agar Chromocult. Recuperado de:
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Coliformes+totales+y+E.+coli+en+Agua+Filtraci%C3%B3n+por+Membrana.pdf/5414795c-370e-48ef-9818-ec54a0f01174>
- Lavie, E., Morábito, J. A., Salatino, S. E., Bermejillo, A., & Filippini, M. F. (2010). Contaminación por fosfatos en el oasis bajo riego del río Mendoza. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 42(1), 169–184.
- Levy, K., Nelson, K. L., Hubbard, A., & Eisenberg, J. N. S. (2012). Rethinking indicators of microbial drinking water quality for health studies in tropical developing countries: Case study in northern coastal Ecuador. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 86(3), 499–507. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2012.11-0263>
- López, C. F. M., & Cufiño, M. A. S. (2016). Análisis del Índice de Riesgo de Calidad del Agua – IRCA- y su relación con variables meteorológicas y ubicación geográfica para el departamento de Norte de Santander en los años 2012 - 2013. Recuperado de:
<http://hdl.handle.net/10185/18695>
- Ministerio de Salud y Protección Social (2014) Informe Nacional de la Calidad del Agua para

Consumo Humano Año 2013 con base en el IRCA. Recuperado de:

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/informe-nacional-de-la-calidad-del-agua-para-consumo-humano-ano-2013-con-base-en-el-irca.pdf>

Ministerio de Salud y Protección Social (2018) Informe Nacional de Calidad del Agua para

Consumo Humano INCA 2016. Recuperado de:

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SNA/ssa-inca-2016.pdf>

Olmedo, M. (2008). Subproductos de la desinfección del agua por el empleo de compuestos de cloro. Efectos sobre la salud. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 8(8), 335–342. Retrieved from [http://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51018bc59c356_Hig.Sanid.Ambient.8.335-342\(2008\).pdf](http://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51018bc59c356_Hig.Sanid.Ambient.8.335-342(2008).pdf)

OMS (2008) Guías para la calidad del agua potable. Tercera Edición. Recuperado de:

https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/es/

OMS (2015). Agua Potable Salubre y Saneamiento Básico en Pro de la Salud. Recuperado de:

https://www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/es/

OMS (2017). Enfermedades transmitidas por el agua. *WHO*. Retrieved from

https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/diseases/es/

OMS (2017). Salubridad y Calidad del Agua. Recuperado de:

https://www.who.int/water_sanitation_health/water-quality/es/

Oocities (2009) Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas. Parámetros y Características de las Aguas Naturales. Recuperado de:

<http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/parametros1.pdf>

- Rodriguez-Rey, L.A. & Moreno-Urrego, S.M. (2016) Analisis del Indice de Riesgo de Calidad de Agua para consumo humano y su relacion con las variables meteorologicas (Precipitacion y temperatura) y la ubicación geografica para el departamento del Atlantico en los años 2012-2013. Recuperado de:
http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/18696/41092133_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Simeonov, V., Stratis, J. A., Samara, C., Zachariadis, G., Voutsas, D., Anthemidis, A., ... Kouimtzis, T. (2003). Assessment of the surface water quality in Northern Greece. *Water Research*, 37(17), 4119–4124. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00398-1](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00398-1)
- Tante, S., Villa, E., Pachó, A., Galvan, M. A., & Corpuz, A. (2015). Which surveillance systems were operational after Typhoon Haiyan? *Western Pacific Surveillance and Response*, 6(1), 96–101. <https://doi.org/10.5365/wpsar.2015.6.2.HYN>
- Tomas, D., Čurlin, M., & Marić, A. S. (2017). Assessing the surface water status in Pannonian ecoregion by the water quality index model. *Ecological Indicators*, 79(August 2016), 182–190. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.04.033>
- Triple A S.A E.S.P. (2017). Informe de sostenibilidad, 220. Retrieved from
<http://www.aaa.com.co/wp-content/uploads/2018/03/InfoSOSTENIBILIDAD2017.pdf>
- Triple A S.A E.S.P. (2018). Informe de sostenibilidad, 220. Retrieved from
<http://www.aaa.com.co/wp-content/uploads/2018/03/InfoSOSTENIBILIDAD2018.pdf>
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. (2009). Índices De Calidad De Agua En Fuentes Superficiales Utilizadas En La Producción De Agua Para Consumo Humano. Una Revisión Crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79–94.

<https://doi.org/10.11144/Javeriana.IYU18-2.ifcd>

- Vivas-Aguas, L.J (2011) Formulación del Índice de Calidad de aguas costeras para los países del Proyecto Spincam: Documento Metodológico. Red de información y datos del Pacífico Sur para el apoyo a la gestión integrada del área costera (SPINCAM). Santa Marta, 42 p.
- Yogendra, K. & Puttaiah, E. T. (2008). Determination of water quality index and sustainability of an urban waterbody in Shimoga Town, Karnataka. M. Sengupta & R. Dalwani (Eds.), Taal2007: The 12th world lake conference, 342-346. Recuperado de:
<http://www.moef.nic.in/sites/default/files/nlcp/B%20-%20Water%20Quality/B-30.pdf>
- Zafra, A. S., Joaquín, P., Jauregui, C., & Granada, / N. (2008). A. SÁNCHEZ ZAFRA Efectos de los trihalometanos sobre la salud Efectos de los trihalometanos sobre la salud. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 8(8), 280–290.

13. ANEXOS

**A. ANEXO 1. RESULTADOS DE PROMEDIO DE LOS PARÁMETROS
FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS.**

Tabla 14.

Resultado por parámetro para el año 2016 para cada municipio.

PARÁMETRO	UNIDADES	PUERTO COLOMBIA	GALAPA	MALAMBO	SABANA-GRANDE	USIA-CURÍ	SABANA-LARGA	MANATÍ	SANTO-TOMAS	PONEDERA	SOLE-DAD	BARA-NOA	SANTA LUCÍA
Color aparente	UPC	10,00	5,00	5,00	10,00	7,50	10,00	20,00	10,00	10,00	7,50	5,00	5,00
Turbiedad	UNT	0,47	0,27	0,22	0,66	0,46	0,59	2,60	0,30	0,64	0,55	0,45	2,71
pH	[H] ⁺	7,30	6,64	7,60	5,92	6,49	7,50	7,39	6,49	7,39	6,72	6,47	6,49
Cloro residual	mg/l	2,50	2,25	2,00	12,75	1,25	1,75	0,75	2,50	2,50	2,25	2,00	1,50
Alcalinidad total	mg/l	48,00	52,00	60,00	38,00	62,00	22,20	214,00	43,33	66,00	32,00	1,80	40,00
Fosfatos	mg/l	0,58	0,00	0,75	0,28	0,01	1,26	0,59	0,33	1,87	0,18	0,27	0,16
Dureza total	mg/l CaCO ₃	52,00	54,00	80,00	44,00	44,00	54,00	314,00	56,00	62,00	29,00	1,50	40,00
Sulfatos	mg/l	34,00	5,50	8,50	3,00	27,00	32,00	38,50	0,50	33,50	10,50	0,00	18,00
Cloruros	Cl-mg/l	1,99	14,90	9,99	11,99	18,86	0,01	8,00	9,66	3,99	3,97	1,10	12,00
Nitratos	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,02
Nitritos	mg/l	0,00	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
Coliformes totales	UFC/100 cm ³	1,00	0,00	52,50	26,25	42,75	17,25	27,25	43,00	3,50	3,50	6,75	42,75
<i>Escherichia Coli</i>	UFC/100 cm ³	0,00	0,00	24,50	2,75	12,75	0,25	4,25	16,75	1,00	1,00	1,25	12,75

Fuente: propia.

Tabla 15. *Continuación de resultado por parámetro para el año 2016 para cada municipio.*

PARÁMETRO	UNIDADES	TUBARÁ	CANDE-LARIA	PIOJÓ	PALMAR DE VARELA	POLO NUEVO	REPE-LÓN	JUAN DE ACOSTA	CAMPO DE LA CRUZ	LURU-ACO	SUAN	BARRA-NQUILLA
Color aparente	UPC	10,00	5,00	5,00	28,50	5,00	5,00	5,00	5,00	190,00	5,00	10,00
Turbiedad	UNT	0,27	1,26	0,46	0,58	0,30	1,02	0,40	5,02	4,06	0,22	0,55
pH	[H] ⁺	6,77	6,57	7,89	7,30	6,68	5,94	7,19	7,00	6,73	7,60	6,55
Cloro residual	mg/l	2,50	1,50	1,50	0,50	2,50	1,00	2,50	0,75	0,50	2,00	3,15
Alcalinidad total	mg/l	46,00	50,67	52,00	34,00	40,00	30,00	48,00	124,00	190,00	60,00	66,50
Fosfatos	mg/l	0,38	0,00	0,22	0,67	0,00	0,50	0,34	150,00	167,50	0,75	3,15
Dureza total	mg/l CaCO ₃	50,00	29,33	72,00	12,00	57,34	78,00	37,00	368,00	364,00	15,50	62,00
Sulfatos	mg/l	0,00	3,00	3,00	0,15	6,00	3,00	15,50	84,00	167,50	26,00	3,50
Cloruros	Cl-mg/l	19,00	16,00	16,00	10,99	5,34	12,00	26,00	0,00	0,01	0,05	0,23
Nitratos	mg/l	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00	0,00	0,03	0,12
Nitritos	mg/l	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,07	0,05	0,04
Coliformes totales	UFC/100 cm ³	110,00	27,25	34,25	37,75	26,25	41,25	107,75	175,50	171,50	144,25	0,00
<i>Escherichia Coli</i>	UFC/100 cm ³	8,00	7,75	2,00	4,50	7,00	5,25	48,00	9,75	21,50	107,75	0,00

Fuente: propia.

Tabla 16. Resultado por parámetro para el año 2018 para cada municipio.

PARÁMETRO	UNIDADES	PUERTO COLOMBIA	GALLAPAGA	MALAMBO	SABANA GRANDE	USIACURÍ	SABANA LARGA	MANATÍ	SANTOTOMAS	PONEDERA	SOLEDAD	BARANOA	SANTA LUCÍA
Color aparente	UPC	13,33	10,00	5,00	6,67	0,00	3,33	10,00	8,33	10,00	10,00	8,33	10,00
Turbiedad	UNT	0,49	0,29	0,31	0,72	0,39	0,57	0,51	0,61	0,77	0,39	0,46	0,66
pH	[H] ⁺	5,76	6,89	6,35	6,79	6,47	6,75	6,90	6,11	6,48	5,80	6,11	6,53
Cloro residual	mg/l	2,17	10,75	2,17	2,50	2,00	2,50	1,33	1,17	2,25	2,33	0,97	1,17
Alcalinidad total	mg/l	72,00	50,67	134,67	68,00	0,03	50,00	50,67	58,67	80,00	53,33	52,00	43,33
Fosfatos	mg/l	7,83	0,38	0,03	0,49	0,50	0,23	2,60	1,27	15,27	0,70	0,33	0,70
Dureza total	mg/l CaCO ₃	653,33	84,00	45,00	85,33	0,01	24,67	157,33	26,67	90,67	70,67	81,33	85,67
Cloruros	Cl-mg/l	249,03	22,65	14,00	24,66	38,29	15,60	18,91	4,00	14,66	49,33	14,04	0,09
Hierro	mg/l	0,07	0,16	0,14	0,07	0,09	0,10	0,12	0,21	0,14	0,11	0,09	0,07
Nitritos	mg/l	0,00	0,07	0,00	0,00	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,00	0,05	0,01
Coliformes totales	UFC/100 cm ³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,83
<i>Escherichia Coli</i>	UFC/100 cm ³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,50

Fuente: propia.

PARÁMETRO	UNIDADES	TUBARÁ	CANDELARIA	PIOJÓ	PALMAR DE VARELA	POLO NUEVO	REPELÓN	JUAN DE ACOSTA	CAMPODELA CRUZ	LURUACO	SUAÑ	BARRANQUILLA
Color aparente	UPC	6,00	10,00	16,67	10,00	5,00	8,33	10,00	10,00	11,67	13,33	11,67
Turbiedad	UNT	0,53	0,55	0,54	0,40	0,57	0,46	0,43	1,85	2,11	2,69	0,39
pH	[H] ⁺	4,85	6,61	7,51	6,25	5,97	6,11	6,54	6,65	7,59	6,48	5,98
Cloro residual	mg/l	1,83	2,50	0,83	0,95	1,83	0,97	0,63	2,33	0,49	2,00	2,33
Alcalinidad total	mg/l	54,67	140,00	51,33	68,00	63,20	52,00	76,00	114,67	220,00	56,00	68,00
Fosfatos	mg/l	0,20	1,80	4,27	0,37	0,87	0,33	1,53	0,48	0,63	0,26	2,48
Dureza total	mg/l CaCO ₃	36,67	74,67	77,33	84,00	62,07	77,33	146,67	113,33	77,33	96,67	65,33
Cloruros	Cl-mg/l	24,67	0,09	10,00	13,98	0,02	10,00	29,31	23,82	121,96	2,40	2,36
Hierro	mg/l	0,08	0,07	0,08	0,10	0,06	0,14	0,15	0,09	0,07	0,07	0,17
Nitritos	mg/l	0,00	0,01	0,01	0,05	0,00	0,01	0,08	0,24	0,01	0,01	0,10
Coliformes totales	UFC/100 cm ³	0,00	0,00	310,00	0,00	25,00	0,00	0,00	0,00	5,33	25,00	0,00
<i>Escherichia Coli</i>	UFC/100 cm ³	0,00	0,00	100,00	0,00	41,33	0,00	0,00	0,00	68,67	0,00	0,00

Tabla 17. Continuación de resultado por parámetro para el año 2018 para cada municipio.

Fuente: propia.

B. ANEXO 2. RESULTADOS PUNTAJE DE RIESGO Y IRCA PARA CADA MUNICIPIO PARA CADA AÑO.

Tabla 18. *Resultado de puntaje de riesgo para cada parámetro y IRCA municipal para el año 2016.*

PARÁMETRO	PUERTO COLOMBIA	GALAPA	MALA-MBO	SABANA-GRANDE	USIA-CURÍ	SABANA-LARGA	MAN-ATÍ	SANTO TOMAS	PONE-DERA	SOLE-DAD	BARA-NOA	SANTA LUCÍA
Color aparente	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0
Turbiedad	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	15
pH	0	0	0	2	2	0	0	2	0	0	2	2
Cloro residual	15	15	0	15	0	0	0	15	15	15	0	0
Alcalinidad total	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Fosfatos	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0
Dureza total	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Sulfatos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cloruros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitratos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitritos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coliformes totales	15	0	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
<i>Escherichia Coli</i>	0	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Puntaje de riesgo	35,84	17,34	47,40	65,32	47,98	47,40	73,99	65,32	64,74	63,58	47,98	65,32
clasificación de puntaje de riesgo	ALTO	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO

Fuente: propia.

Tabla 19. *Continuación de resultado de puntaje de riesgo para cada parámetro y IRCA municipal para el año 2016.*

	TUBARÁ	CANDE-LARIA	PIOJÓ	PALMAR DE VARELA	POLO NUEVO	REPE-LÓN	JUAN DE ACOSTA	CAMPO DE LA CRUZ	LURU-ACO	SUAN	BARRAN-QUILLA
Color	0	0	0	6	0	0	0	0	6	0	0

aparente											
Turbiedad	0	0	0	0	0	0	0	15	15	0	0
pH	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Cloro residual	15	0	0	0	15	0	15	0	0	0	15
Alcalinidad total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fosfatos	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1
Dureza total	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Sulfatos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cloruros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitratos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitritos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coliformes totales	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	0
<i>Escherichia Coli</i>	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	0
Puntaje de riego	63,58	46,24	46,24	54,34	63,58	49,13	63,58	65,90	72,83	47,40	18,50
Clasificación de puntaje de riesgo	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO

Fuente: propia.

Tabla 20.

Resultado de puntaje de riego para cada parámetro y IRCA municipal para el año 2018.

PARÁMETRO	PUERTO COLOMBIA	GAL-APA	MALA-MBO	SABANA-GRANDE	USIA-CURÍ	SABANA-LARGA	MAN-ATÍ	SANTO TOMAS	PONE-DERA	SOLE-DAD	BARA-NOA	SANTA LUCÍA
Color aparente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Turbiedad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pH	1,5	0,0	1,5	0,0	1,5	0,0	0,0	1,5	1,5	1,5	1,5	0,0
Cloro residual	15	15	15	15	0	15	0	0	15	15	0	0

Alcalinidad total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fosfatos	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1
Dureza total	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cloruros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hierro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitritos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coliformes totales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
<i>Escherichia Coli</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
Puntaje de riego	21,51	17,4	19,18	17,44	1,74	17,44	1,162	2,90	20,34	20,34	1,74	47,67
clasificación de puntaje de riesgo	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	SIN RIESGO	MEDIO	SIN RIESGO	SIN RIESGO	MEDIO	MEDIO	SIN RIESGO	ALTO

Fuente: propia.

Tabla 21.

Resultado de puntaje de riego para cada parámetro y IRCA municipal para el año.

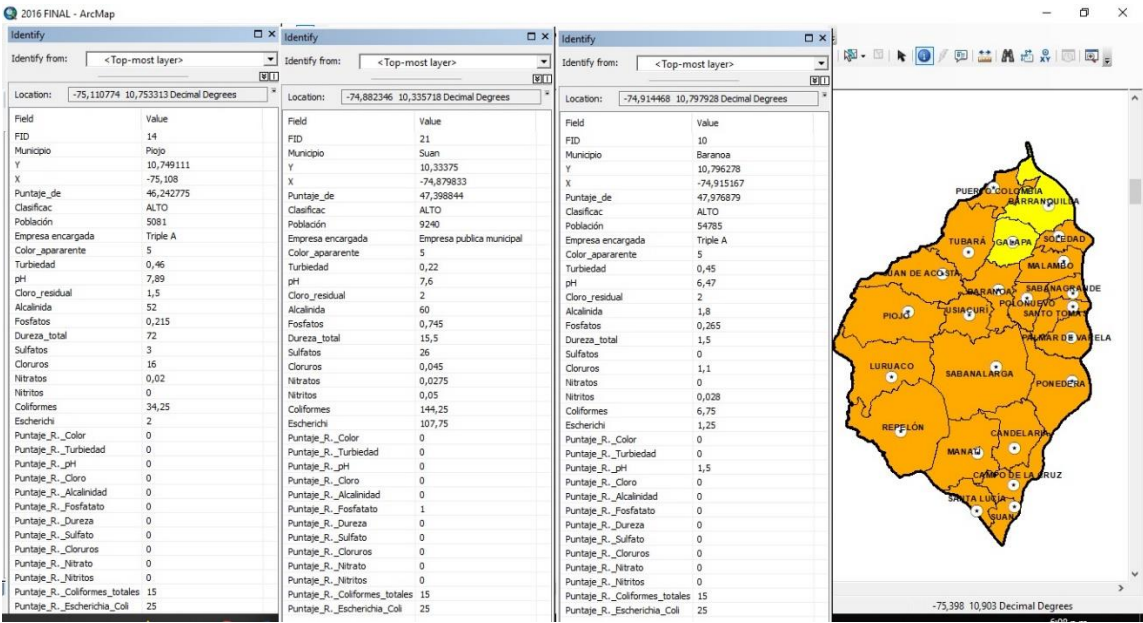
PARÁMETRO	TUB-ARA	CANDE-LARIA	PIOJÓ	PALMAR DE VARELA	POLO NUEVO	REPE-LÓN	JUAN DE ACOSTA	CAMPO DE LA CRUZ	LURU-ACO	SUAN	BARRAN-QUILLA
Color aparente	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0
Turbiedad	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15	0
pH	1,5	0,0	0,0	1,5	1,5	1,5	0,0	0,0	0,0	1,5	1,5
Cloro residual	0	15	0	0	0	0	0	15	0	0	15
Alcalinidad total	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Fosfatos	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Dureza total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cloruros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hierro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitritos	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0

Coliformes totales	0	0	15	0	15	0	0	0	15	15	0
<i>Escherichia Coli</i>	0	0	25	0	25	0	0	0	25	0	0
Puntaje de riesgo	1,74	18,60	54,65	1,74	49,42	1,74	1,16	20,93	66,28	36,63	20,35
clasificación de puntaje de riesgo	SIN RIESGO	MEDIO	ALTO	SIN RIESGO	ALTO	SIN RIESGO	SIN RIESGO	MEDIO	ALTO	ALTO	MEDIO

Fuente: propia.

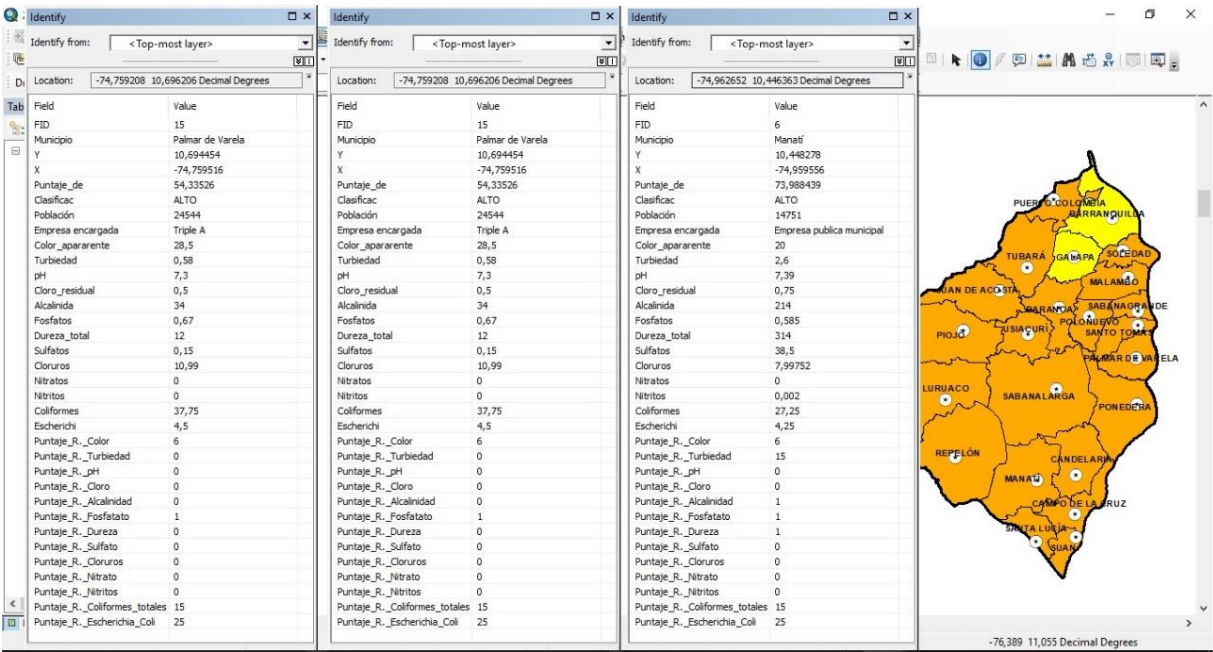
C. ANEXO 3. RESULTADOS OBTENIDOS DEL SISTEMA DE GEORREFERENCIACIÓN CON PROGRAMA ARCGIS.

Figura 9. Mapa de clasificación de IRCA e información de georreferenciada con 3 municipios diferentes para el departamento del Atlántico en el año 2016.



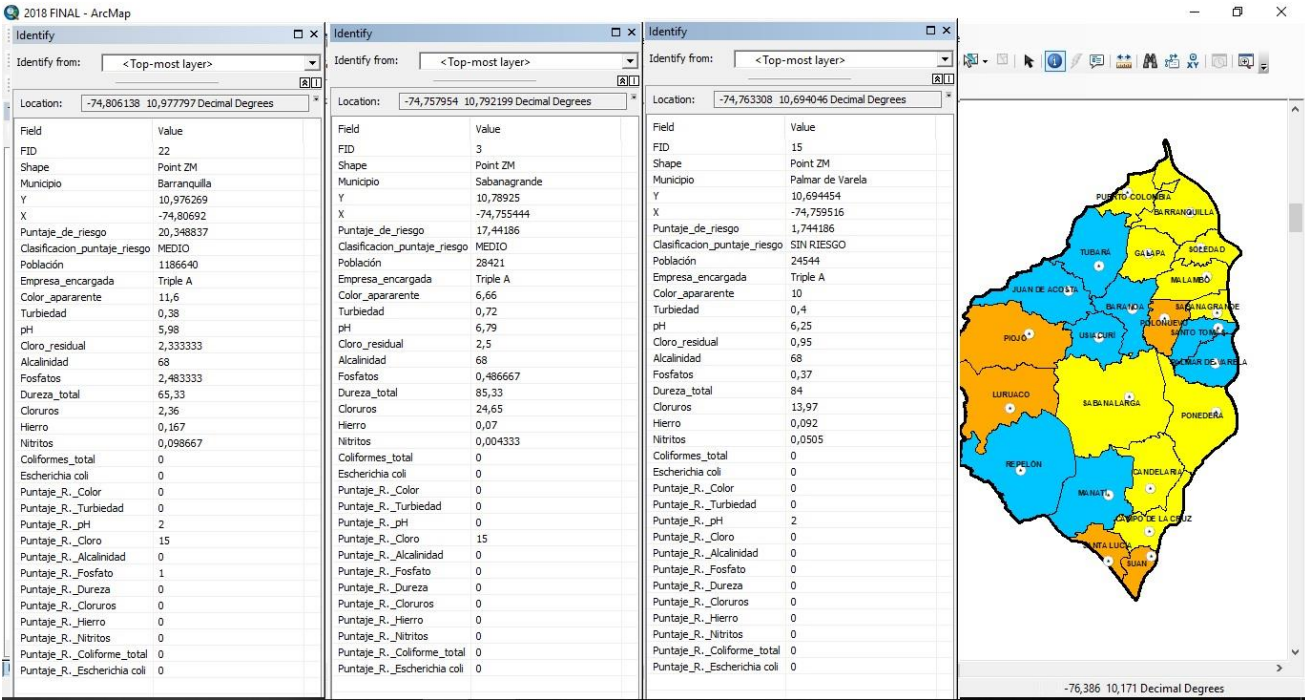
(Fuente: Propia, elaboración en ArcGIS)

Figura 10. Mapa de clasificación de IRCA e información de georreferenciada con 3 municipios diferentes para el departamento del Atlántico en el año 2016.



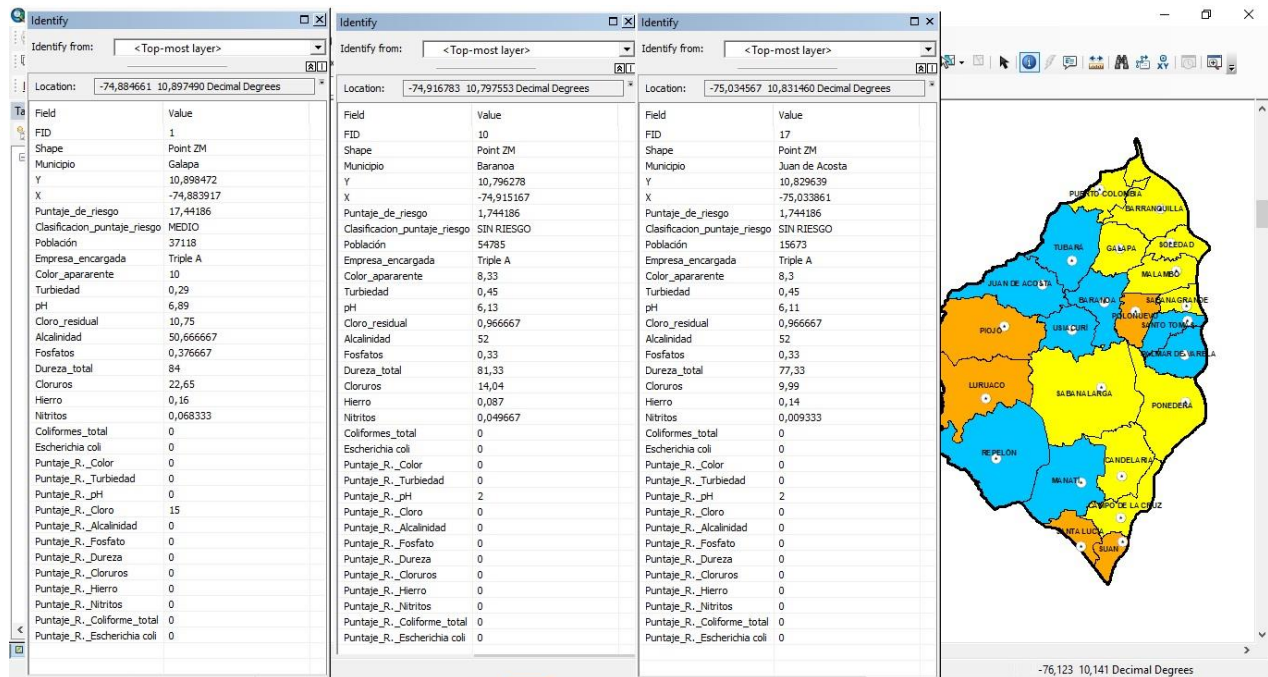
(Fuente: Propia, elaboración en ArcGIS)

Figura 11. Mapa de clasificación de IRCA e información de georreferenciada con 3 municipios diferentes para el departamento del Atlántico en el año 2018.



(Fuente: Propia, elaboración en ArcGIS)

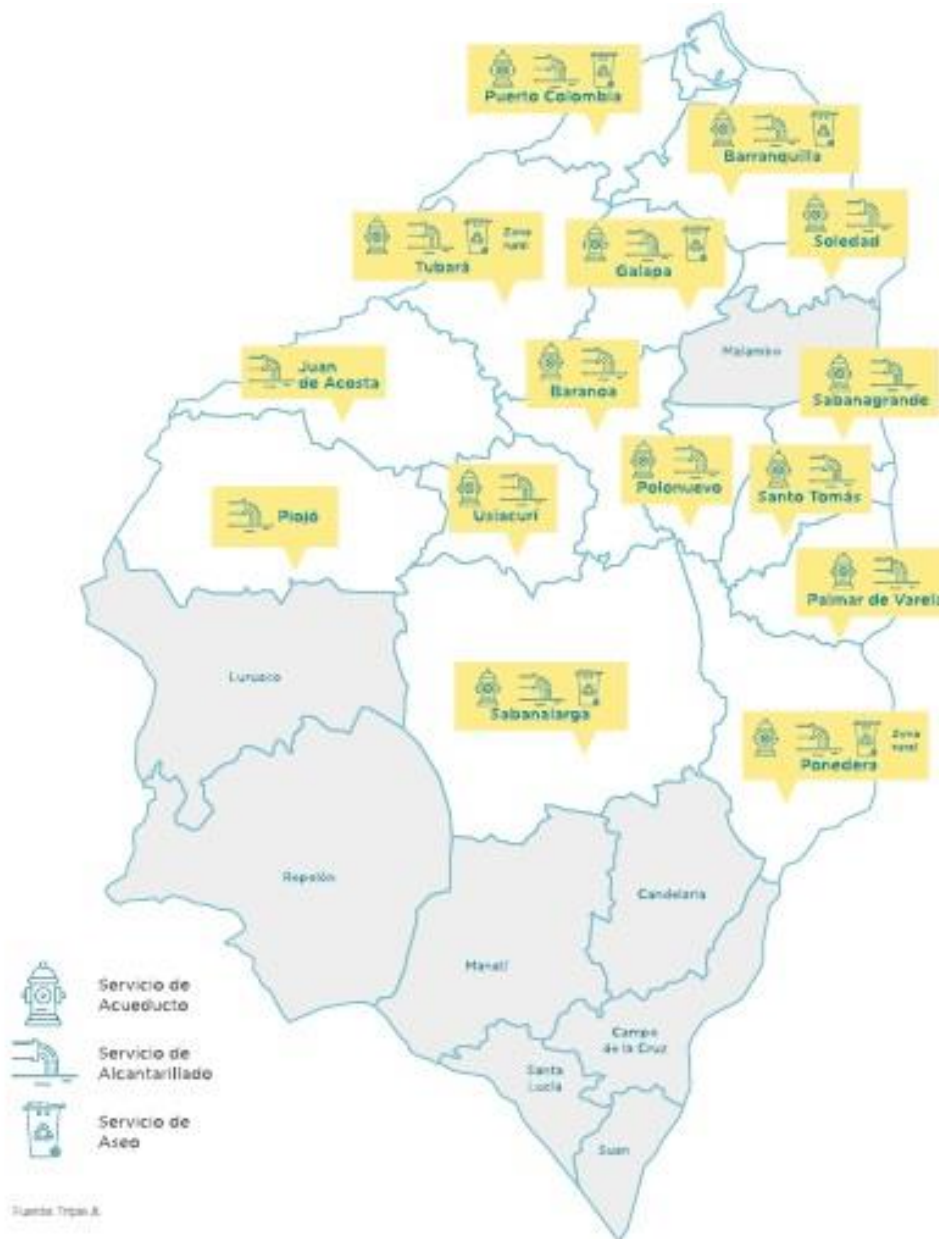
Figura 12. Mapa de clasificación de IRCA e información de georreferenciada con 3 municipios diferentes para el departamento del Atlántico en el año 2018.



(Fuente: Propia, elaboración en ArcGIS).

D. ANEXO 4. DISTRIBUCION DE EMPRESAS ENCARGADAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.

Figura 13. Mapa de claficacion para districucion de agua potable de la empresa triple A.



Fuente: (Triple A S.A E.S.P, 2017).

E. ANEXO 5. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE RECOLECCIÓN Y PRUEBAS DE LABORATORIO.

Figura 14. Preparación para toma de muestra.



Fuente: Propia.

Figura 15. Toma de muestras.



Fuente: Propia.

Figura26. Preparación para prueba microbiológica.



Fuente: Propia.

Figura 17. Muestras recolectadas para pruebas microbiológica.



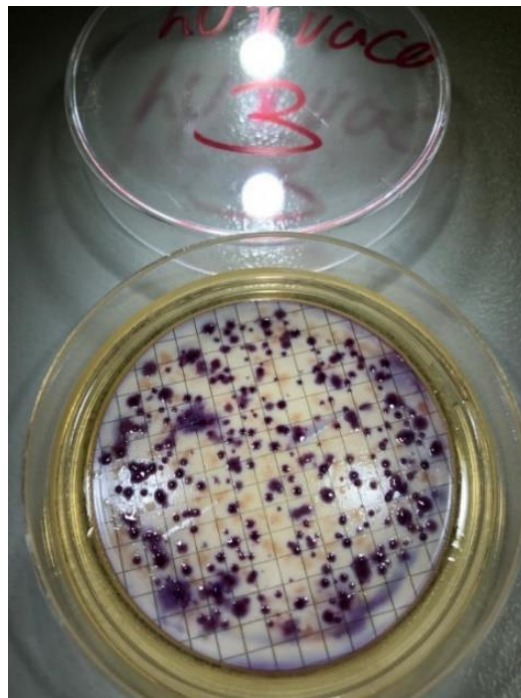
Fuente: Propia.

Figura 18. Preparación para pruebas microbiológica.



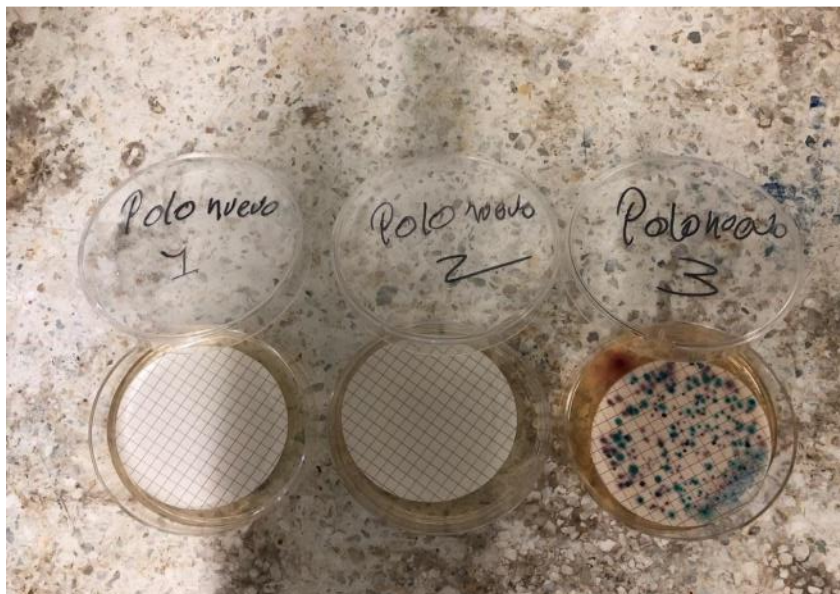
Fuente: Propia.

Figura 19. Resultados microbiológicos.



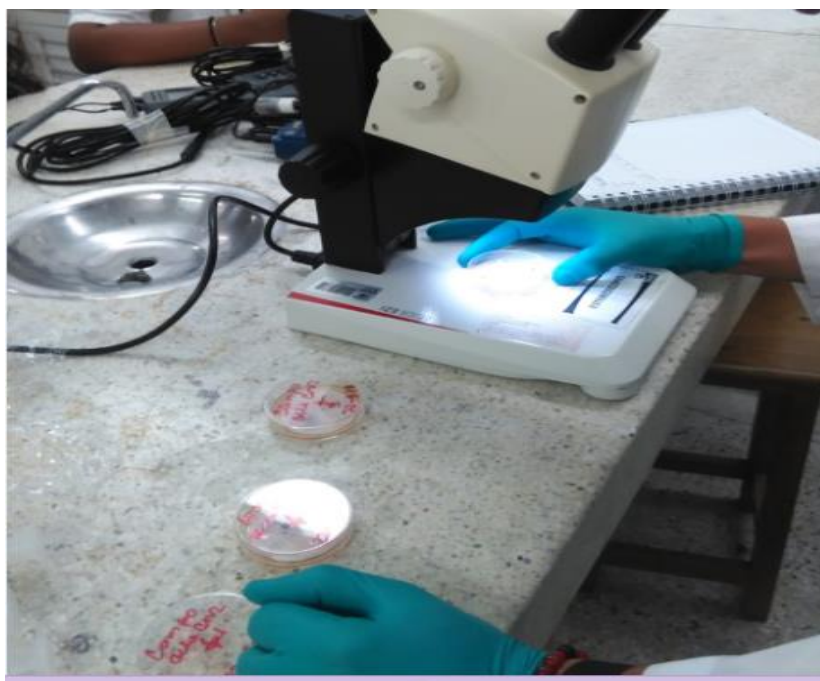
Fuente: Propia.

Figura 20. Resultados microbiológicos.



Fuente: Propia.

Figura 21. Análisis de resultados microbiológicos con macroscopio.



Fuente: Propia.

Figura 22. Preparación para pruebas de fosfatos, hierro y nitritos.



Fuente: Propia.

Figura 23. Resultado para pruebas de fosfatos.



Fuente: Propia.

Figura 24. Resultados de prueba cloro residual.



Fuente: Propia.

Figura 35. Resultados de pruebas fisico-químicas.



Fuente: Propia.

Figura 26. Resultados de pruebas fisico-químicas (alcalinidad).



Fuente: Propia.